

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
31. Mai 2001 (31.05.2001)

PCT

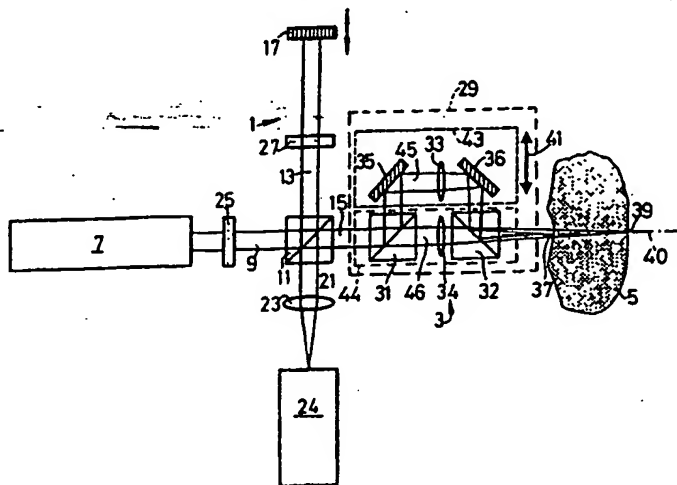
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 01/38820 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation: G01B 9/02, (72) Erfinder; und  
11/06, G01N 21/45 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WAELTI, Rudolf  
[CH/CH]; Könizstrasse 194j, CH-3097 Liebefeld (CH).  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH00/00634 SCHMID, Gregor, R. [CH/CH]; Rte de Prinzières,  
CH-1965 Savièse (CH).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 24. November 2000 (24.11.2000) (74) Anwälte: ROSHARDT, Werner, A. usw.; Keller &  
Partner Patentanwälte AG, Schmiedenplatz 5, Postfach,  
CH-3000 Bern 7 (CH).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch  
(30) Angaben zur Priorität: 2146/99 24. November 1999 (24.11.1999) CH (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU,  
CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,  
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,  
MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL,  
TI, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING THE OPTICAL PROPERTIES OF AT LEAST TWO REGIONS LO-  
CATED AT A DISTANCE FROM ONE ANOTHER IN A TRANSPARENT AND/OR DIFFUSE OBJECT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MESSUNG OPTISCHER EIGENSCHAFTEN WENIGSTENS  
ZWEIER VONEINANDER DISTANZIERTER BEREICHE IN EINEM TRANSPARENTEN UND/ODER DIFFUSIVEN GEGEN-  
STAND



(57) Abstract: The invention relates to a method for measuring the optical properties of at least two regions (37/39) located at a distance from one another in a transparent and/or diffuse object (5) with a measuring period in the subsecond range, the object (5) being irradiated with a number of measuring beams (45, 46) which corresponds to the number of regions. Each two measuring beams have, with the exception of a specific tolerance in relation to each other, an optical path differential, which corresponds to a geometric distance between two respective regions (37, 39). Each reflection beam of the measuring beams reflected from one of said regions (37, 39) is superimposed interferometrically and detected using a third beam (13; 60) which has a temporal, preferably periodic variation in the optical path length.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/38820 A1



(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— Mit internationalem Recherchenbericht.

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

(57) Zusammenfassung: Bei dem Verfahren zur Messung optischer Eigenschaften wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche (37/39) in einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand (5) mit einer Messzeit im Subsekundenbereich wird der Gegenstand (5) mit einer der Anzahl Bereiche entsprechenden Anzahl Messstrahlen (45, 46) bestrahlt. Jeweils zwei Messstrahlen haben bis auf eine Toleranz zueinander eine optische Wegdifferenz, welche einem geometrischen Abstand jeweils zweier Bereiche (37, 39) entspricht. Jeder von einem der Bereiche (37, 39) reflektierte Reflexionsstrahl der Messstrahlen wird mit einem eine zeitliche, bevorzugt periodische, Weglängenvariation aufweisenden dritten Strahl (13; 60) interferierend überlagert und detektiert.

10

**Verfahren und Vorrichtung zur Messung optischer Eigenschaften wenig-  
stens zweier voneinander distanzierter Bereiche in einem transparenten  
und/oder diffusiven Gegenstand**

15

**Technisches Gebiet**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren, eine Vorrichtung zur Messung optischer Eigenschaften wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche bei einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand sowie deren Verwendung zur Dicken-, Abstands- und/oder Profilmessung. Die Dicken-, Abstands- und/oder Profilmessung wird mittels Kurzkohärenzreflektometrie vorgenommen.

20

Die Transparenz von Gegenständen hängt von deren wellenlängenabhängigen Schwächungskoeffizienten  $\alpha$  [ $\text{cm}^{-1}$ ] und deren Dicke bzw. der vorgegebenen Messstrecke  $d$  ab. Als transparent werden Gegenstände bezeichnet, deren Transmissionsfaktor  $T = \exp(-\alpha \cdot d)$  noch innerhalb des Messbereichs der unten beschriebenen Interferometer liegt, wobei die Transmission  $T^2$  bei den unten beschriebenen Interferometern infolge des "Hin- und Rückweges" der Strahlung ist. In diffusiven Gegenständen

25

wird die Strahlung stark gestreut, nicht notwendigerweise absorbiert. Beispielsweise sind als diffusive Gegenstände Milchglasscheiben, Delrin, organische Gewebe (Haut, menschliche und tierische Organe, Pflanzenteile etc.) anzusehen.

Eine Kurzkohärenzreflektometrie wurde in der Regel für präzise, rasche und nicht-invasive Abbildungen vorgenommen. Typischerweise wurde in einer optischen Anordnung mit einem Michelson-Interferometer der Strahl einer Strahlungsquelle in einen Referenz- und einen Messstrahl mit einem Strahlteiler aufgespalten. In der Regel wurde eine Strahlungsquelle mit einer kurzen Kohärenzlänge ausgewählt. Eine Aufspaltung in Referenz- und Messstrahl sowie deren Wiedervereinigung erfolgte mit einem Strahlteiler und bei Verwendung von Faseroptikwegen mit einem Faserkoppler. Die optische Weglängenänderung im Referenzarm konnte durch Verschieben eines Referenzspiegels auf einer Translationsbühne erreicht werden. Vorteilhafterweise verwendete man jedoch einen rotierenden transparenten Würfel, wie er in der WO96/35100 beschrieben war. Nur wenn der Weglängenunterschied kleiner als die Kohärenzlänge der Strahlung der Strahlungsquelle war, entstand nach der Wiedervereinigung des reflektierten Referenz- und Messstrahls ein Interferenzmuster. Das Interferenzmuster wurde auf einen Photodetektor gebracht, welcher die Strahlungsintensität während der Veränderung der Spiegelposition maß. Da die Frequenz der Strahlung des reflektierten Referenzstrahls wegen der Spiegelverschiebung eine Dopplerverschiebung erfuhr, konnte das Interferenzsignal mit elektronischen Mitteln, wie beispielsweise in der WO99/22198 beschrieben, durch Erhöhung des Signal-Rauschverhältnisses ausgewertet werden.

Messfehler traten jedoch auf, wenn Abstände, welche wenigstens zwei Messvorgänge notwendig machten, in optisch transparenten bzw. eine optische Strahlung diffus transmittierenden Gegenständen gemessen werden sollten und die Gegenstände über dem gesamten Messzyklus innerhalb der geforderten Messtoleranz nur schwer oder nicht ausreichend fixiert werden konnten. Diese Probleme traten insbesondere bei "in-vivo"-Messungen auf.

#### **Darstellung der Erfindung**

#### **Aufgabe der Erfindung**

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren vorzustellen sowie eine Vorrichtung

zu schaffen, mit dem bzw. mit der insbesondere bei "in-vivo"-Messungen von Abständen, Dicken, Oberflächenverläufen,..., welche Messungen an unterschiedlichen Orten in einem Gegenstand beinhalten, optimal d.h. mit einer Messfehlerminimierung durchführbar sind.

## 5 Lösung der Aufgabe

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass zur Messung optischer Eigenschaften mit einer Messzeit im Subsekundenbereich (notwendig für eine "in-vivo"-Messung) wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche bei einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand, wie zur Abstands-, Längen-, Dicken- und Profilmessung notwendig, der Gegenstand mit einer der Anzahl Bereiche entsprechenden Anzahl Messstrahlen gleichzeitig oder kurz nacheinander bestrahlt wird. Durch den Ausdruck "bei" einem Gegenstand soll ausgedrückt werden, dass die Bereiche sich an Orten im Gegenstand sowie auch auf dem Gegenstand, z. B. seitlich versetzt befinden können. Jeweils zwei Messstrahlen haben bis auf eine Bestimmungstoleranz zueinander eine optische Wegdifferenz, d. h. einen Laufzeitunterschied. Der Laufzeitunterschied entspricht einem optischen Abstand zweier Raumpunkte (Bereiche) in Bezug auf die Ausbreitungsrichtung der Messstrahlung, wobei wenigstens einer der Raumpunkte wenigstens geringfügig (typischerweise mindestens  $10^{-4}\%$  der Strahlungsintensität) reflektiert. Die Messstrahlen können somit übereinander liegen (Dicken-, Distanz-, Längenmessung), parallel zueinander verlaufen (Oberflächenprofil, ...) oder beliebige Winkel zueinander aufweisen (Dicken-, Distanzmessung, ... bei vorgegebenem Winkel zu einer Referenzfläche). Jeder von einem der Bereiche reflektierte Reflexionsstrahl der Messstrahlen wird mit einem zeitliche, bevorzugt periodische, Weglängenvariation aufweisenden dritten Strahl interferierend überlagert detektiert.

Nach der Vorahme der Wegdifferenz bzw. -differenzen erfolgt vorzugsweise zur Dickenmessung eine Vereinigung der Messstrahlen zu einer einzigen Strahlkonfiguration mit einer einzigen optischen Achse. Auch kann die Strahlkonfiguration über den Gegenstand, insbesondere periodisch bewegt werden. Es erfolgt hierdurch ein seitliches Abscannen. Dieses Abscannen unter einem Abspeichern der ermittelten Werte kann zur Erstellung von Profilen dienen. Anstelle die beiden Messstrahlen auf einer optischen Achse zu fokussieren, können jedoch auch jeweils wenigstens zwei

Messstrahlen in einem Abstand nebeneinander verlaufen und fokussiert werden, um ein Oberflächenprofil zu ermitteln.

Die Messstrahlen haben im Vergleich zu den Bereichsabständen, insbesondere zu den Bereichsabständen ausgehend von einem Referenzort eine kurze Kohärenzlänge. Die Messstrahlen können ferner jeweils sich voneinander unterscheidende Strahlungsfrequenzen haben. Es müssen dann jedoch mehrere Strahlungsquellen verwendet werden. Man kann auch mit nur einer Strahlungsquelle arbeiten und über Filter eine Aufteilung vornehmen. Hierbei ergibt sich jedoch ein Verlust an Breitbandigkeit; auch müssen einige der Komponenten mit einer aufwendigen Beschichtung versehen werden.

Anstelle von unterschiedlichen Strahlungsfrequenzen bzw. ergänzend hierzu können die Messstrahlen sich voneinander unterscheidende Polarisationszustände haben, was einen einfacheren Aufbau ergibt. Vorzugsweise wird man auch eine Fokussierung der Messstrahlen in den auszumessenden Bereich bzw. die auszumessenden Bereiche vornehmen. Da mit einer "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung gearbeitet wird, kann die augenblickliche Position des reflektierenden Elements im Referenzarm als Referenzort dienen. Es kann nun die tatsächliche Position hierzu verwendet werden oder ein mit dem Referenzort gekoppelter anderer Wert, wie beispielsweise die Verdrehungsposition des in der WO 96/35100 beschriebenen rotierenden Würfels.

Die Messung wird mit einer "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung, in deren Messarm der optisch transparente und/oder diffusive Gegenstand einbringbar ist, durchgeführt. Anstelle eines optisch transparenten und/oder diffusiven Gegenstands kann auch mit einem Gegenstand gearbeitet werden, dessen Oberfläche reflektierend ist. Bei einem reflektierenden Gegenstand kann mit der erfindungsgemäßen Methode insbesondere dessen Oberflächenprofil ermittelt werden. Der Gegenstand kann jedoch optisch transparent und/oder diffusiv sein und eine (wenigstens einige wenige Prozente) reflektierende Oberfläche haben. In diesem Fall können dann sowohl Oberflächen, wie auch Dicken bzw. deren Verläufe ermittelt werden. Der Referenzarm weist eine Weglängenvariationseinheit auf, mit der bevorzugt eine periodische Weglängenänderung im Referenzarm durchführbar ist. Im Messarm ist vor dem Gegenstand eine Umwegeinheit angeordnet, mit der wenigstens ein erster Messstrahl mit einer gegenüber wenigstens einem zweiten Messstrahl größeren Laufzeit beaufschlag-

bar ist, wobei ein mit der Umwegeinheit erzeugbarer Umweg bis auf eine Bestimmungstoleranz gleich einem Abstand von mindestens zweier im Gegenstand auszumessenden Bereichen wählbar ist. Neben im Gegenstand "hintereinander" liegenden Bereichen (Orte) zur Dickenmessung, können selbstverständlich auch "nebeneinander" liegende Bereich (Ort) zur Bestimmung von Oberflächenkrümmungen, bzw. Oberflächenverläufen ausgemessen werden.

Der Umweg wird näherungsweise derart eingestellt, dass er einem zu erwartenden Messergebnis einer zu bestimmenden Dicke, Abstand, ... bis auf eine Bestimmungstoleranz entspricht. Mit der Wegvariationseinheit im Referenzarm muss dann nur noch der nicht bekannte (zu bestimmende) Anteil der Dicke, des Abstands etc. ermittelt werden. Soll z.B. die tatsächliche Länge eines menschlichen Auges bestimmt werden, so weiß man ja bereits im Vorhinein, dass Augen eine optische Länge von 34 mm mit einer Längentoleranz von  $\pm 4$  mm aufweisen. Es kann nun hier ein Umweg auf 34 mm eingestellt und mit der Wegvariationseinheit eine Variation von lediglich 8 mm vorgenommen werden.

Mit der unten beschriebenen Vorrichtung und deren Ausführungsvarianten kann am Auge neben der Augenlänge, die Corneadicke, die Vorderkammertiefe, die Linsendicke und die Glaskörpertiefe sowie entsprechende Oberflächenprofile gemessen werden. Hierzu wird der für die Augenoberfläche als Gegenstandsoberfläche bestimmte Messstrahl "irgendwo" zwischen der Corneavorderseite und der Linsenrückseite fokussiert. Durch diesen "Kompromiss" kann dann die Reflexion an der Corneavorderseite, der Cornearückseite, der Linsenvorderseite und der Linsenrückseite detektiert werden. Die Distanz zwischen der Cornearückseite und der Linsenvorderseite ist dann die Vorderkammertiefe. Bedingung für diese Messung ist jedoch, dass der "optische" Hub (ca. 8 mm) der Wegvariationseinheit derart groß ist, dass von der Corneavorderseite bis zur Linsenrückseite gescannt werden kann.

Eine einzige Messung verarbeitet somit die Reflexionen an mehreren Bereichen zusammen nahezu gleichzeitig. Um die einzelnen Reflexionen messtechnisch dennoch unterscheiden zu können, haben die Messstrahlen unterschiedliche optische Eigenschaften, wie unterschiedliche Polarisationsrichtung, unterschiedliche Wellenlänge, ... Man kann jedoch auch mit nicht unterscheidbaren Strahlen arbeiten und durch eine Veränderung des Umwegs die beiden Interferenzsignale zur Deckung bringen. In diesem Fall ist dann der eingestellte Umweg gleich dem gesuchten Abstand, Dicke etc.

Die Verwendung von nicht unterscheidbaren Strahlen führt zu einem Sensitivitätsverlust.

Je nach Anzahl verwendeter Messstrahlen können ein oder mehrere Abstände mit einer Messung bestimmt werden. Die Weglängenänderungen im Referenzarm können, wie in der WO 96/35100 beschrieben, mit einem rotierenden transparenten Würfel vor einem feststehenden Reflektor vorgenommen werden. Ein derartiger Würfel kann problemlos mit über 10 Hz rotieren. D.h. bei den meisten Messungen kann der auszumessende Gegenstand, ohne dass besondere Vorkehrungen für seine Fixierung vorgesehen werden, als in Ruhe befindlich betrachtet werden.

Der Umweg wird mit einer Umwegeinheit erzeugt, in der die geometrisch-optische Länge des Umwegs durch eine Abstandsverstellung eines Umlenkspiegels gegenüber einem der Strahlteiler veränderbar ist. Der Strahlteiler und jeder diesem zugeordnete Umlenkspiegel sind insbesondere derart zueinander ausgerichtet, dass jeder umgelenkte Messstrahl mit dem nicht umgelenkten eine einzige optische Achse innerhalb des Gegenstands hat sowie wahlweise je eine Fokussiereinheit für jeden Messstrahl, um diesen auf je einen Bereich fokussieren zu können. Eine derartige Anordnung kann zur Dicken-, Längen- und/oder Distanzmessung bzw. zur Messung eines Dicken-, Längen- und/oder Distanzprofils verwendet werden.

In der Vorrichtung wird man vorzugsweise eine Speichereinheit verwenden, in der Weglängen der Weglängenvariationseinheit abspeicherbar sind, bei denen eine Interferenz der ersten und dritten sowie zweiten und dritten Messstrahlung abspeicherbar sind. Man wird dann einen Dicken-, Längen- und/oder Distanzwert bei vorzugsweise annähernd auf einer Achse fokussierten ersten und zweiten Messstrahlen bzw. wahlweise ein Oberflächenprofil bei seitlich benachbart liegenden ersten und zweiten Strahlen aus den abgespeicherten Daten ermitteln.

Weitere Ausführungsvariationen zur Erfindung und deren Vorteile ergeben sich aus dem nachfolgenden Text. Allgemein sei bemerkt, dass die nachfolgend mit Strahlteiler bezeichneten optischen Einheiten eine Strahlteilung aber auch ein Zusammenführen von zwei Strahlen vornehmen können.

### **Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

Nachfolgend werden Beispiele der erfindungsgemässen Vorrichtung, mit der das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist, anhand von Zeichnungen näher

erläutert. Es zeigen:

Fig. 1. ein optisches Blockschaltbild einer erfindungsgemässen Vorrichtung,

Fig. 2 eine Variante zur optischen Anordnung in Figur 1,

5 Fig. 3 eine weitere Variante zu den in den Figuren 1 und 2 dargestellten Vorrichtungen, welche hier jedoch mit zwei unterschiedlichen Zentrumswellenlängen arbeitet,

Fig. 4 ein optisches Blockschaltbild analog Figur 1, jedoch zur Ermittlung der Phasenverzögerung in einem doppelbrechenden Material,

Fig. 5 eine Variante zu den in den Figuren 1 bis 4 dargestellten Vorrichtungen,

10 Fig. 6 eine Hilfsdarstellung zur Erklärung einer Ermittlung eines Oberflächenprofils,

Fig. 7 ein optisches Blockschaltbild einer Ausführungsvariante zur Ermittlung eines Oberflächenprofils zusammen mit diversen Dicken,

Fig. 8 eine vergrößerte Darstellung des in Figur 7 gezeigten Strahlenganges unmittelbar vor sowie im Auge 147,

15 Fig. 9 eine schematische Darstellung des in Figur 7 dargestellten Strahlenganges lediglich für die Randstrahlen der auf die Detektoren 172a und 172c fallenden Strahlen,

20 Fig. 10 ein optisches Blockschaltbild einer Variante der erfindungsgemässen Vorrichtungen, bei der die Strahlung größten Teils in Strahlungsleitern verläuft, wobei die Augenoberfläche zur Darstellung der Auftrefforte der Strahlen um 90° verdreht gezeichnet ist,

Fig. 11 eine schematische Darstellung eines Stereomikroskops eines Spaltlampengeräts mit einem Messtrahlengang im Mittelkanal des Mikroskops und

Fig. 12 eine Spaltlampengerät mit einem auf das Mikroskop aufsteckbaren Adapter.

## 25 Wege zur Ausführung der Erfindung

In Figur 1 ist ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Vorrichtung mit einer "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung dargestellt. Die optische Anordnung hat einen Referenzarm 1 und einen Messarm 3, in dem der auszumessenden Gegenstand 5 angeordnet ist. Eine Strahlungsquelle 7 sendet einen parallelen

Quellenstrahl 9 mit einer linear polarisierten kurzkohärenten Strahlung aus. Die Kohärenzlänge der Strahlung ist kürzer gewählt als die unten beschriebenen, auszumessenden Abstände im Gegenstand 5. Der von der Strahlungsquelle 7 ausgehende Quellenstrahl 9 wird mit einem die Strahlungspolarisation nicht verändernden physikalischen Strahlteiler 11 in einen Referenz- und einen Gegenstandsstrahl 15 für den Messarm 3 aufgeteilt. Bei einem physikalischen Strahlteiler bleibt gegenüber einem geometrischen der ursprüngliche Strahlquerschnitt erhalten. Es wird die Lichtleistung aufgeteilt, wodurch sich auch dessen Strahldichte ändert. Der Referenzstrahl 13 wird an einer nur schematisch dargestellten, als translatorisch verschiebbaren Spiegel 17 ausgebildeten Weglängenvariationseinheit in sich selbst rückreflektiert. Im Strahlteiler 11 wird er dann mit vom Gegenstand 5 reflektierter Strahlung interferierend überlagert. Diese interferierende Strahlung 21 wird durch Fokussierung mit einer Fokussiereinheit 23 von einem Photodetektor 24 detektiert. Eine andere beispielsweise verwendbare Wegvariationseinheit 17 ist als im Hertzbereich rotierender transparenter Würfel in der WO96/35100 beschrieben und schematisch in Figur 2 in dem dort gezeigten optischen Aufbau integriert. Anstelle eines rotierenden Würfels können selbstverständlich auch andere Weglängenvariationseinheiten verwendet werden. Es kann beispielsweise auch der hier gezeigte translatorisch "hin- und herwackelnde" Spiegel eingesetzt werden. Dieser "wackelnde" Spiegel könnte eine mit einer Spiegelbeschichtung versehene Lautsprechermembran sein. Im Quellenstrahl 9 ist zwischen Strahlungsquelle 7 und Strahlteiler 11 ein Element 25 zur Drehung der Polarisationsrichtung des Quellenstrahls 9 angeordnet. Ein weiteres Element 27 zur Drehung der Polarisationsrichtung ist zwischen Strahlteiler 11 und Weglängenvariationseinheit 17 angeordnet. Die Elemente 25 und 27 sind hier als sogenannte  $\lambda/2$ - bzw.  $\lambda/4$  Platten (Viertelwellenlängen-Platte) ausgebildet.

Im Messarm 3 ist vor dem Gegenstand 5 eine Umwegeinheit 29 eingesetzt. Die Umwegeinheit 29 hat zwei polarisationssensitive Strahlteiler 31 und 32, zwei Fokussiereinheiten, welche symbolisch durch die Linsen 33 und 34 dargestellt sind, sowie zwei Umlenkspiegel 35 und 36. Da in dem hier ausgeführten Beispiel die Tiefe des transparenten Gegenstands 5 bestimmt werden soll, ist die Brennweite der Fokussiereinheit 33 derart gewählt, dass deren Brennpunkt auf der Gegenstandsvorderfläche 37 liegt. Die Brennweite der Fokussiereinheit 34 ist derart gewählt, dass deren Brennpunkt auf der Gegenstandsrückseite 39 liegt. Das optische Teilsystem 43 [ ► Umlenkspiegel 35 –

Fokussiereinheit 33 – Umlenkspiegel 36 ◀ ] ist parallel zum optischen Teilsystem 44 [ ▶ Strahlteiler 31 – Linse 34 – Strahlteiler 32 ◀ ], wie durch den Pfeil 41 angedeutet, verschiebbar. Der optische Weg, der durch das Teilsystem 43 laufenden Strahlung ist durch eine Verschiebung in Pfeilrichtung 41 veränderbar. Da die Messstrahlung im  
5 bzw. auf dem Gegenstand 5 reflektiert wird, werden die optischen Teilsysteme 43 und 44 zweimal durchlaufen. Die optische Wegdifferenz (nur Hin- oder Rückweg) wird nun derart eingestellt, dass sie dem im Gegenstand 5 auszumessenden optischen Abstand, hier der optischen Gegenstandstiefe, ungefähr entspricht.

Für die nachfolgende Beschreibung des Messverfahrens wird die Wirkungswei-  
10 se der  $\lambda/2$ - bzw.  $\lambda/4$ Platten 25 und 27 vorerst außer Acht gelassen. Der von der Strahlungsquelle 7 ausgesandte, linear polarisierte Quellenstrahl 9 trifft auf den Strahlteiler 11 und wird von diesem in gleiche Teile für den Referenz- und den Messarm 1 und 3 als Referenz- und Gegenstandsstrahl 13 und 15 aufgeteilt. (Eine Aufteilung in gleiche Teile ist jedoch nicht zwingend notwendig.) Die Strahlteiler 31 und 32 sind als polarisierende Strahlteiler ausgebildet. Der Strahlteiler 31 ist nun derart ausgebildet und orientiert, dass der durch den Strahlteiler 11 geteilte polarisierte Quellenstrahl 9 mit der nun  
15 halben Strahlungsintensität als Gegenstandsstrahl 15 mit einer Polarisationsrichtung unter  $45^\circ$  auf den Strahlteiler 31 trifft. Hier wird der Gegenstandsstrahl 15 in zwei Messstrahlen 45 und 46 aufgeteilt, deren Polarisations Ebenen nun  $90^\circ$  gegeneinander gedreht liegen. Der unter  $45^\circ$  polarisierte Referenzstrahl 13 enthält somit diese beiden Polarisationsrichtungen. Immer wenn eine Interferenz detektierbar ist, ist die Länge des optischen Weges ▶ Strahlteiler 11 – Strahlteiler 31 – Fokussiereinheit 34 – Strahlteiler  
20 32 – Gegenstandsrückseite 39 und wieder zurück ◀ gleich lang wie derjenige Weg, den der am Spiegel 17 reflektierte Referenzstrahl 13 durchläuft, wobei die optische Weglänge im Referenzarm 1 im Hertzbereich mit der Weglängenvariationseinheit 17 veränderbar ist. Die Fokussiereinheit 34 kann bei gewissen Anwendungen weggelassen werden. Es kann z. B. für die Augenlängenmessung die Fokussierung des Messstrahls 46 von der Brechkraft des Auges übernommen werden. Eine Längenzuordnung ist über den jeweiligen Drehwinkel der Einheit 17 möglich. (Bei einem linear verschieb-  
25 baren Spiegel ist die Verschiebung am Translationsstand erkennbar.) Eine weitere Interferenz ist detektierbar, wenn analog zu den gerade gemachten Ausführungen der optische Weg [ ▶ Strahlteiler 11 – Strahlteiler 31 – Umlenkspiegel 35 – Fokussiereinheit 33 – Umlenkspiegel 36 – Strahlteiler 32 – Gegenstandsvorderseite 37 und wieder

zurück ◀ ] gleich lang wie der am Spiegel 17 reflektierte Referenzstrahl 13 ist. Entspricht die Wegdifferenz durch die Umwegeinheit 29 dem Abstand von Gegenstandsvorder- zur -rückseite 37 bzw. 39, so fallen die Interferenzen bei ein- und derselben Ortslage des Spiegels 17 (Weglängenvariationseinheit) zusammen. Wenn nicht, dann  
5 ergeben sich gegenüber dem tatsächlichen Abstand (Dicke) nur geringfügig unterscheidende Ortslagen.

Die optische Weglängendifferenzen der beiden optischen Wege in der Umwegeinheit 29 werden immer so eingestellt, wie sie einem zu erwartenden ungefähren Messergebnis entsprechen würden. D.h. durch die Messung wird somit immer nur die  
10 Abweichung vom zu erwartenden Messergebnis ermittelt. Da diese Abweichungen immer bedeutend kleiner sind, als wenn der gesamte Weg (Abstand, Dicke, ...) ausgemessen werden muss, kann mit einer bedeutend kleineren und damit rascheren Weglängenvariation im Referenzarm gearbeitet werden. D.h. zeitlich gesehen, fallen die beiden Interferenzen sehr schnell hintereinander an; sie können sogar gleichzeitig  
15 erfolgen. Da bei Abständen, Dickenmessungen, ... beim Stand der Technik immer zwei zeitlich gestaffelte Messungen vorzunehmen waren, liegt nun bei der Erfindung das Messergebnis derart schnell vor, dass Ortsverschiebungen des auszumessenden Gegenstands die Messgenauigkeit nur unwesentlich beeinflussen. In der Umwegeinheit 29 sind die Strahlteiler 31 und 32, die Umlenkspiegel 35 und 36 sowie die beiden Fokussiereinheit 33 und 34 derart angeordnet, dass die beiden Fokuspunkte auf der Ge-  
20 genstandsvorder- und der -rückseite 37 und 39 auf einer optischen Achse 40 liegen.

Der gerade geschilderte Vorteil ist bei einer Augenlängenmessung an den Augen von Kindern, welche in der Regel nur schwer still zu stellen sind, von großem Nutzen.

25 Ist eine Zuordnung der auftretenden Interferenzen zu den betreffenden reflektierenden Flächen gewünscht, so können anstelle des einen Photodetektors 24 zwei, jeder für eine Polarisationsrichtung, verwendet werden. Es wird dann die Strahlung der einen Polarisationsrichtung mittels eines polarisierenden Strahlteilers auf den einen Photodetektor und die Strahlung der anderen Polarisationsrichtung auf den anderen  
30 Photodetektor geleitet.

Die Strahlungsreflexion kann nun an der Gegenstandsvorder- sowie an der rückseite 37 bzw. 39 unterschiedlich hoch sein; auch können Reflexionen von Bereichen innerhalb eines Gegenstands, deren Abstand man bestimmen möchte oder so-

fern es sich um Schichten handelt, deren Dicke man ermitteln möchte, unterschiedlich sein. Um nun die reflektierte Intensität in einem gewissen Rahmen anpassen zu können, sind die  $\lambda/2$ - bzw.  $\lambda/4$  Platten 25 und 27 im Quellenstrahl 9 und im Referenzstrahl 13 vorhanden. Man kann nun die jeweilige Platte derart verstellen, dass in dem Strahl, dessen Strahlung schwach reflektiert wird, mehr Intensität eingekoppelt wird.

Die Weglängenänderung im Referenzarm 1 beaufschlagt die Strahlungsfrequenz des Referenzstrahls 13 mit einer Dopplerfrequenz  $f_{\text{Doppler}}$  gemäß der Beziehung

$$f_{\text{Doppler}} = \frac{2 \cdot f_0 \cdot v_{\text{scan}}}{c}$$

wobei  $f_0$  die Strahlungsfrequenz der Strahlungsquelle 7,  $v_{\text{scan}}$  die Weglängenänderungsgeschwindigkeit und  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist. (Mit der in der WO96/35100 beschriebenen Weglängenvariationseinheit ist die Dopplerfrequenz  $f_{\text{Doppler}}$  annähernd konstant.) Diese Dopplerfrequenz weist auch das mit dem Photodetektor 24 detektierte Interferenzsignal auf. Das vom Detektor 24 erhaltene elektrische Signal kann somit mit einem elektronischen Bandpassfilter von der restlichen detektierten Strahlung getrennt werden. Hierdurch verbessert sich das Signal-Rausch-Verhältnis erheblich.

Es müssen nun nicht alle Strahlverläufe, wie in Figur 1 dargestellt, als freie "Raumstrahlen" verlaufen. Es können auch Fasern als Strahlungsleiter, wie in Figur 2 dargestellt, verwendet werden. Analog zur Strahlungsquelle 7 wird in Figur 2 eine Laserdiode 50, eine Superlumineszenzdiode, LED oder eine andere breitbandige Lichtquelle verwendet, deren Strahlung über einen Strahlungsleiter 51 zu einem Faserkoppler 52 geführt wird. Im Faserkoppler 52 erfolgt eine Aufteilung der Strahlung der Laserdiode 50 in die beiden Strahlungsleiter 53a und 53b, wobei der Strahlungsleiter 53a Bestandteil des Messarms 55 und der Strahlungsleiter 53b Bestandteil des Referenzarms 56 ist.

Im Strahlungsleiter 53b des Referenzarms 56 ist ein Faserpolarisationsregler 57 analog zur  $\lambda/4$ -Platte 27 integriert. An dem dem Faserkoppler 52 abgewandten Ende des Strahlungsleiters 53b ist ein Kollimator 59 angeordnet, welcher die aus dem Leitende austretende Strahlung in einen parallelen Freiraumstrahl 60 verwandelt. Die Intensität dieses Freiraumstrahls 60, insbesondere im Verhältnis zur im Messarm 55 re-

reflektierten Strahlung, kann anschließend an den Kollimator 59 mit einem Graufilter 61 (Dämpfung) und einer weiteren  $\lambda/4$ -Platte 63 verändert werden. Im Gegensatz zu einem translatorisch verschiebbaren Referenzspiegel 17 ist in Figur 2 als Wegvariations-  
einheit ein rotierender transparenter Würfel 65 mit einem Spiegel 66, der die auf ihn  
fallende Strahlung in sich selbst reflektiert, verwendet (WO 96/35100).

Im Messarm 55 ist am dem Faserkoppler 52 angewandten Ende des Strahlungsleiters 53a ein Kollimator 67 angeordnet, welcher die aus dem Leiterende austretende Strahlung in einen parallelen Freiraumstrahl 69 umformt. Der Freiraumstrahl 69 wird, wie bereits oben ausgeführt, mit einer zur Umwegeinheit 29 analog ausgebildeten  
Umwegeinheit 70 in zwei unterschiedliche Laufzeiten aufweisende Messstrahlen auf-  
gespalten und wieder mit einer gemeinsamen optischen Achse als gemeinsame Strahl-  
konfiguration 71 überlagert. Die die beiden Messstrahlen aufweisende Strahlkonfigura-  
tion 71 durchläuft ein Linsensystem 72 zur Strahldurchmesserminimierung auf den Po-  
lygonflächen eines rotierenden Polygonspiegels 73. In Folge der Rotation des Polygon-  
spiegels 73 wird die Strahlkonfiguration 71 über das Auge 75 in der dort gezeigten  
Pfeilrichtung 76 abgelenkt. Es kann somit ein Augenlängenprofil aufgenommen wer-  
den. Mit den abgespeicherten Werten einer Oberfläche kann mit Bezug auf eine Referenz-  
ebene, wie unten beschrieben (siehe Figur 6), deren Oberflächenprofil ermittelt  
werden. Mit dem Linsensystem 77 und einem Linsensystem 78 im Umweg wird eine  
Anpassung der Fokuspunkte der beiden Messstrahlen derart vorgenommen, dass der  
den Umweg aufweisende Strahl infolge der Linsensysteme 67 und 78 sowie der Lin-  
sensysteme 72 und 77 eine Fokussierung auf die Hornhaut 79 des Auges 75 und der  
den Umweg nicht aufweisende Messstrahl auf den Augenhintergrund fokussiert ist.  
Hiermit ist dann eine Augenlängenmessung vornehmbar.

Die im Messarm 55 rückreflektierte Strahlung vom Auge 75 wird dann mit der im Referenzarm 56 rückreflektierten und mit einer Dopplerfrequenz überlagerten Strahlung im Faserkoppler 52 interferierend überlagert und vom über einen Strahlungsleiter 80 mit dem Faserkoppler 52 verbundenen Detektor 82 analog der obigen Ausführung detektiert.

Anstelle nur eines einzigen Polygonspiegels können selbstverständlich auch zwei verwendet werden, um ein zweidimensionales Abfahren (Abscannen) zu erreichen. Anstelle eines regulären Polygonspiegels kann auch ein Polygonspiegel verwendet werden, dessen Spiegelflächen einen sich sukzessive verändernden Neigungswinkel

kel gegenüber der Rotationsachse aufweisen, um ein zeilenartiges Abscannen zu erreichen. Die Rotationsgeschwindigkeiten zwischen dem "Würfel" der Wegvariations-einheit und dem Polygonspiegel müssen nicht koordiniert sein; man muss für die computerisierte Auswertung nur die jeweiligen Positionen wissen.

5           Anstelle eines Polygonspiegels können auch sogenannte Galvanometerspiegel-, elektro-optische und akusto-optische Ablenker verwendet werden. Auch kann ein elektro-magnetisch bewegter Spiegel verwendet werden, der auf einer Kugeloberfläche derart gelagert ist, dass eine zweidimensionale Ablenkung möglich ist. Vorteil dieser Anordnung gegenüber einem Polygonspiegel ist ein Drehpunkt nahe der Spiegelober-  
10       fläche.

Figur 3 zeigt zu den in den Figuren 1 und 2 dargestellten optischen Anordnungen eine weitere Ausführungsvariante der Erfindung, bei der zwei Strahlungsquellen 83a und 83b mit unterschiedlichen Zentrumswellenlängen verwendet werden. Die Spektren der verwendeten Lichtquellen sollten sich möglichst wenig überlappen. Analog zum optischen Aufbau in Figur 2 wird auch hier mit Strahlungsleitern gearbeitet.  
15       Die von den beiden Strahlungsquellen 83a und 83b ausgehenden Strahlungsleiter 84a und 84b werden in einem ersten Faserkoppler 85 in einen Strahlungsleiter 86 eingekoppelt, der mit einem weiteren Faserkoppler 87 verbunden ist. Vom Faserkoppler 87 geht ein Messarm 89 und ein Referenzarm 90 weg sowie ein Strahlungsleiter 91 zu  
20       einem Detektor 92. Im Gegensatz zu den bereits oben beschriebenen Ausführungsvarianten hat hier der Messarm einen weiteren Faserkoppler 93, der die von den beiden Strahlungsquellen 83a und 83b kommenden Strahlungen mit unterschiedlicher Zentrumswellenlänge wieder nach den Zentrumswellenlängen in zwei Strahlungsleiter 94a und 94b auftrennt. Die Enden der beiden Strahlungsleiter 94a und 94b enden in einer  
25       Umwegeinheit 95. Die Umwegeinheit 95 hat für die aus den Enden der Strahlungsleiter 94a und 94b austretenden Freiraumstrahlungen 96a und 96b je ein Linsensystem 97a und 97b. Die Freiraumstrahlung 96b wird dann über einen Umlenkspiegel 99 mit einem wellenlängenselektiven Strahlteiler (-vereiniger) 100 zu einer einzigen optischen Achse 102 aufweisenden Strahlkonfiguration 101 vereinigt. Die Linsensysteme 97a und  
30       97b sind nun gerade derart ausgewählt, dass eine Fokussierung der betreffenden Freiraumstrahlung 96a bzw. 96b auf die betreffende Trennfläche, hier beispielsweise 107 und 108, zur Dicken- bzw. Abstandbestimmung erfolgt. Eine Verstellung des Umwegs ist in der hier beschriebenen Ausführungsvariante einfach dadurch zu erzielen, dass z.

B. lediglich der Umlenkspiegel 99 samt dem Linsensystem 97b und dem Ende des Strahlteilers 94b bezüglich des Strahlteilers 100 gemäß der Darstellung in Figur 3 nach oben verschoben wird. Dies ist einfach durchführbar, da die Strahlungsleiter 94a und 94b flexibel sind.

- 5 Die mit dem Photodetektor 92 erhaltenen elektrischen "Interferenzsignale" werden dann mit einer Auswerteelektronik 103 weiter verarbeitet, eventuell auf einem Bildschirm 104 dargestellt und können über ein Datenübertragungsnetz 105 zur weiteren Ausarbeitung und Abspeicherung weitergegeben werden.

- Zur Messung an zwei in axialer Richtung getrennt liegenden Bereichen in einem
- 10 Gegenstand ist die oben beschriebene unterschiedliche Polarisation sowie auch die beiden unterschiedlichen Wellenlängen im umgelenkten sowie im direkten Strahl des Messarms nicht notwendig. Auf die  $\lambda/4$ - und  $\lambda/2$ -Platten kann dann ebenfalls verzichtet werden. Die polarisationssensitiven bzw. wellenlängensensitiven Strahlteiler bzw. Faserkoppler können dann durch normale physikalische Strahlteiler ersetzt werden. Ein
- 15 Vorteil eines Arbeitens mit unterschiedlichen Strahleigenschaften [unterschiedliche Frequenz, unterschiedliche Polarisationsrichtung] liegt in einer Empfindlichkeitserhöhung um den Faktor 8. Wird nämlich ununterscheidbare Strahlung verwendet, so geht auf dem Hinweg die Hälfte der Strahlung beim Strahlteiler 32 bzw. 100 und auf dem Rückweg geht zusätzlich zweimal die Hälfte verloren. Nämlich zuerst beim Strahlteiler
- 20 32 bzw. 100 sowohl für die von der Gegenstandsvorderseite, als auch für die von der Gegenstandsrückseite reflektierten Strahlung. Durch den "falschen" Umweg ist diese Strahlung für die interferometrische Detektion wegen der "falschen" Weglänge "verloren". Ferner geht noch einmal die Hälfte der Strahlung beim Strahlteiler 31 oder beim Faserkoppler 93 sowohl für die von der Gegenstandsvorderseite als auch für die von
- 25 der Gegenstandsrückseite reflektierte Strahlung verloren. Ist eine ausreichende Strahlungsintensität vorhanden und erträgt der Gegenstand diese hohe Intensität, so ist dies eine bevorzugte Ausführungsvariante, da hier die zu verwendenden optischen Komponenten preisgünstiger sind.

- Soll die Phasenverzögerung in einem doppelbrechenden Material eines Gegen-
- 30 stands 109 gemessen werden, so wird eine Vorrichtung mit einem optischen Aufbau gemäß Figur 4 verwendet. Der in Figur 4 dargestellte Aufbau entspricht bis auf die nachfolgend angeführten Unterschiede demjenigen der Figur 1.

Die Strahlteiler 31 und 32 des Aufbaus von Figur 1 sind in Figur 4 die analogen Strahlteiler 111 und 112. Ferner sind die den Linsensystemen 33 und 34 entsprechenden Linsensysteme 113 und 114 derart ausgebildet, dass die durch sie erzeugten Brennpunkte in einem Bereich, hier z.B. auf der Probenrückseite, zusammenfallen; es soll ja eine Phasenverzögerung zweier Strahlungen mit zueinander senkrecht stehender Polarisations Ebenen ermittelt werden. Anstelle eines einzigen Photodetektors in Figur 1 sind in Figur 4 jetzt für jede Polarisationsrichtung ein Photodetektor 116 und 117 vorhanden, wobei die auf sie fallende, von der Probenrückseite 115 reflektierte Strahlung, der die Referenzstrahlung interferierend überlagert wird, durch einen polarisierenden Strahlteiler 119 aufgeteilt wird.

Die von der Probenrückseite 115 reflektierte p-polarisierte Strahlung wird mit vernachlässigbaren Verlusten auf dem kurzen Weg durch die Umweeinheit 120 über den Strahlteiler 119 auf den Photodetektor 116 gestrahlt. Die ebenfalls von der Probenrückseite 115 reflektierte s-polarisierte Strahlung – die Polarisations Ebene der s-Strahlung liegt senkrecht zu derjenigen der p-Strahlung – wird ebenfalls mit vernachlässigbaren Verlusten auf dem langen Weg durch die Umweeinheit 120 über den Strahlteiler 119 auf den Photodetektor 117 gestrahlt. Da ausschließlich von der Probenrückseite 115 reflektierte Strahlung detektiert wird, ist die Umweeinheit 120 derart einzustellen, dass die optischen Wegunterschiede zwischen der s- und p-Strahlung möglichst klein sind. Aus der durch die Photodetektoren 116 und 117 gemessenen Intensität der betreffenden reflektierten Intensität kann dann auf die Phasenverzögerung des doppelbrechenden Materials geschlossen werden.

Soll neben einer der oben beschriebenen Messungen zusätzlich eine Betrachtung vorgenommen werden, so kann eine Vorrichtung mit einem optischen Aufbau, wie in Figur 5 gezeigt, beispielsweise verwendet werden. Die optische Anordnung der Figur 5 entspricht im wesentlichen den in den Figuren 1 bis 4 gezeigten Anordnungen. Eine den Umweeinheiten 29; 70 und 120 entsprechende Umweeinheit 118 ist lediglich angedeutet. Die Ausführungsvariante gemäß Figur 5 weist jedoch die nachfolgenden Unterschiede auf. Zur Beleuchtung des Gegenstands, hier eines Auges 121, ist nach einem, in Figur 2 bereits beschriebenen Polygonspiegel 123 ein Strahlteiler 124 vorhanden, über den die Beleuchtungsstrahlung 125 einer Strahlungsquelle 126 eingekoppelt wird. Mit einer Kamera 127 kann der auszumessende Bereich betrachtet und auf einem nicht dargestellten Monitor wiedergegeben werden. Der Beobachtungsstrahl

- 16 -

**129** wird mit einem Strahlteiler **130** auf die Kamera **127** gelenkt. Erscheint der Beleuchtungsstrahl auf dem Monitor **128** in einem bestimmten örtlichen Toleranzbereich, so ist das Auge ausgerichtet und die Messung kann ausgelöst werden.

Sollen sehr kleine Dicken oder Abstände ermittelt werden, kann es vorkommen, dass der in den **Figuren 1 bis 5** gezeigte Umweg in der dort skizzierten Umweeinheit infolge der geometrischen Abmessungen von zu verwendenden optischen Komponenten zu lang ist. In diesem Fall kann analog zu dem dort jeweils gezeigten großen optischen Weg auch der kurze optische Weg verlängert werden, in dem auch hier zwei verschiebbare Umlenkspiegel in den Strahlengang eingesetzt werden. Mit einer derartigen Umweganordnung können dann beliebig kurzer und langer Umweg vertauscht werden.

Die oben beschriebene erfindungsgemäße Vorrichtung kann nebst ihren Ausführungsvarianten zusammen mit bereits bestehenden Geräten verwendet werden. Diese Vorrichtung kann man z. B. in ein Spaltlampengerät für die Augenuntersuchung einbauen oder mit diesem kombinieren. Es kann dann der Messstrahl als Freiraumstrahl entweder via Strahlteiler in den Beleuchtungsstrahlengang, beim Mikroskop ebenfalls via Strahlteiler in einen Beobachtungsstrahlengang oder beim Mikroskopobjektiv oder mit einem Umlenkspiegel **199** in einen Mittelkanal **200** eines Stereomikroskops **202** eines Spaltlampengeräts, wie in **Figur 11** gezeigt, eingekoppelt werden. Der Mittelkanal **200** liegt zwischen den beiden Strahlengängen **201a** und **201b** des Stereomikroskops **202**. In **Figur 11** ist zudem noch eine Fixationslichtquelle **203** gezeigt. Durch eine Betrachtung der Fixationsquelle **203** richtet der Patient sein Auge **205** auf einen vorgegebenen Ort aus und hält es meistens auch auf diesen unbeweglich fixiert. Der Messstrahl **206** tritt (analog einer Vorrichtungsanordnung wie sie **Figur 2** zeigt) aus einer Faser **207** aus und durchläuft eine analog zur Umweeinheit **29, 70, 89** oder **120** ausgebildete, nicht explizit dargestellte Umweeinheit **209** mit einem optionalen transversalen Scanner. Die restlichen Elemente der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind in einem kompakten Basisgerät **210** eingebaut. Bei der Wahl der in der Umweeinheit **209** verwendeten Linsen muss lediglich die Linsenwirkung der Objektivlinse des Spaltlampenmikroskops **202** mit berücksichtigt werden.

Durch die Verstellung des Spaltlampengeräts in den drei räumlichen Koordinaten, bevorzugt mit einem sogenannten Lenkhebel, wird dann auch der Messstrahl entsprechend verstellt. Anstatt das ganze Spaltlampengerät zusammen mit dem Mess-

strahl zu verstellen, können auch beide unabhängig voneinander verstellt werden. Wie bereits oben angedeutet, verwendet man bei einer Verstellung nur des Messstrahls bevorzugt eine "faseroptische" Ausführung analog zur Darstellung in Figur 3.

Bei einer Kombination mit einem mit Placidoringen ausgerüsteten Videokeratographen erfolgt eine Einkopplung des Messstrahls in Richtung der Beleuchtungsachse des Videokeratographen mit Hilfe eines kleinen Strahlteilers.

Anstatt den Messstrahlengang, wie oben beschrieben in ein Stereomikroskop zu integrieren, kann er auch bei einem Spaltlampengerät 213 über einen auf das Mikroskop 214 aufsteckbaren Adapter 215 zugeführt werden, wie in Figur 12 skizziert ist. Der Adapter 215 beinhaltet die Funktionen der Umweeinheit 29, 70, 95 oder 120.

Aufgrund der obigen Ausführung kann die Vorrichtung gemäß den Figuren 1 bis 5 mit diversen Geräten kombiniert werden. Sie kann jedoch auch, da der Messvorgang äußerst rasch erfolgt, als Handgerät ausgebildet werden, welches dann lediglich vor einen auszumessenden Gegenstand gehalten wird. Bei einer Ausbildung als Handgerät bzw. als modifiziertes Spaltlampengerät (Figur 12) wird man bevorzugt die in Figur 3 gezeigte Ausführungsvariante mit Faserleitern verwenden, da dieses eine große Bewegungsfreiheit ergibt. In diesem Fall sind vorzugsweise die bewegbaren Fasern als polarisationserhaltende Fasern ausgebildet. Es kann beispielsweise auch eine Kombination mit einem sogenannten Kontaktglas erfolgen, welches in der Hand gehalten an die Hornhautoberfläche des menschlichen Auges angelegt wird.

Um diese Vorrichtung möglichst universell verwendbar auszuführen, müsste nun, da die Länge des Messarmes (Abstand der Umweeinheit zum auszumessenden Gegenstand) stark variieren kann, das Weglängenvariationselement einen großen Variationsweg durchfahren können. Interferenzen ergeben sich nämlich nur, wenn Referenzweg und entsprechender Messweg gleich lang sind. Diese Differenzen muss das Weglängenvariationselement ausgleichen können. Ein großer Variationsweg macht einerseits die Weglängenvariationseinheit teuer in ihrer Ausführung und verlängert zudem die Messzeit.

Dieser Nachteil kann umgangen werden, wenn versucht wird, den Messweg innerhalb kleiner Toleranzwege zu halten. Zwei Strahlen der Strahlungsquelle können nun derart angeordnet werden, dass sie sich erst im Messgebiet auf dem auszumessenden Gegenstand treffen, wenn dieser sich innerhalb eines vorgegebenen Abstands

befindet. Man wird hierzu die zwei Justierstrahlen (Pilotlaser) gegen die optische Achse geneigt einstrahlen. Zur Justage werden dann zwei Punkte auf einer streuenden oder reflektierenden Oberfläche des Messobjekts gesehen, welche erst bei richtiger Entfernungseinstellung zu einem Punkt verschmelzen.

- 5 Bei Verwendung eines Betrachtungsmikroskops kann der Umweg in der Umwegeinheit optimal dadurch eingestellt werden, dass der Strahldurchmesser jedes Messstrahls minimal auf den betreffenden Bereich eingestellt wird. Dieser Vorgang kann auch automatisiert werden; z B. mit einer CCD-Kamera, einer Auswerte- und Steuereinheit und einem Aktuator. Die Steuereinheit, mit der der Aktuator gesteuert  
10 wird, regelt die Distanz zwischen der Umwegeinheit und dem Messobjekt (Gegenstand).

- Anstatt nur jeweils einen Abstand bzw. eine Dicke auszumessen, können auch mehrere ausgemessen werden, indem anstelle nur eines Umwegs mehrere vorgesehen werden. Weitere Umwege können erhalten werden, indem jeweils ein Umlenkspiegel durch einen Strahlteiler mit entsprechenden Eigenschaften ersetzt wird und dann  
15 wieder ein Umlenkspiegelpaar oder nur ein einziger Umlenkspiegel bei der Faseranordnung gemäß Figur 3 verwendet wird,

- In den vorgängig beschriebenen Figuren 1 bis 5 werden Messungen ausgeführt, bei denen eine Dicke ermittelt wird. Hierzu wird der erste Messstrahl auf einen  
20 ersten Punkt fokussiert und der zweite Messstrahl, in der Regel derjenige, welcher den Umweg nicht durchlaufen hat, auf einen zweiten, nach dem ersten Punkt liegenden Punkt fokussiert. Erster und zweiter Punkt liegen hier auf einer optischen Achse. Man kann nun die erfindungsgemäße Vorrichtung auch derart aus- und umbilden, dass die Fokuspunkte der beiden Messstrahlen nebeneinander liegen. Werden die Messstrahlen seitlich nebeneinander gelegt, so kann bei einer Oberfläche, welche wenigstens  
25 einen Mindestreflexionsfaktor von  $10^{-4}\%$  hat, ein Oberflächenprofil bestimmt werden. Es wird hierzu, wie in Figur 6 angedeutet ist, der Abstand  $d_1$  eines ersten reflektierenden Ortes 135 des ersten Messstrahls 136 auf der Oberfläche 137 von einem Referenzpunkt bzw. einer Referenzebene 139 und der Abstand  $d_2$  des zweiten reflektierenden Ortes 140 des zweiten Messstrahls 141 von der Referenzebene 139 ermittelt. Bei  
30 beide Messwerte werden in einer Speichereinheit 143 abgespeichert. Die Abstandsdifferenz  $d_1$  und  $d_2$  der beiden Messstrahlen 136 und 141 von der Referenzebene 139 in Relation zu deren gegenseitigen Abstand  $h$  ergibt dann zwei Oberflächenkoordinaten.

Aus diesen beiden Koordinaten kann dann auf den Oberflächenverlauf mit Näherungsverfahren geschlossen werden, sofern die Art der Oberfläche bekannt ist. Die Art der Oberfläche ist beim menschlichen Auge bekannt. Werden mehrere Messstrahlen verwendet oder mehrere Messungen mit seitlich versetzten Messstrahlen vorgenommen, kann die Oberfläche genauer ermittelt werden.

In der Ophthalmologie spielt bei der Anpassung von intraokulären Linsen in der Katarakt-Behandlung nicht nur die Augenlänge und die Vorderkammertiefe eine wesentliche Rolle, sondern auch das Krümmungsprofil der Hornhaut, vor allem in deren Zentrum. Alle diese Werte können mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung bestimmt werden.

Zur Ermittlung des Profils genügen im Minimalfall zwei bestimmte Krümmungsradien der zentralen Hornhaut, nämlich ein Krümmungsradius in horizontaler und einer in vertikaler Richtung. Sind diese beiden Radien verschieden, spricht man von einem (zentralen) Astigmatismus. Die Krümmungsradien können mit Hilfe bekannter geometrischer Algorithmen ermittelt werden, wenn pro zu bestimmenden Kreisbogen, wie bereits oben ausgeführt, ausgehend von einer Referenzebene (hier 139) der Abstand unter einem vorgegebenen Winkel (hier der normale Abstand  $d_1$  und  $d_2$ ) und der Abstand (hier  $h$ ) der Kurvenpunkte (hier 135 und 140) von einander bekannt sind. Die Abstände  $d_1$  und  $d_2$  sind aus dem augenblicklichen Ort des reflektierenden Spiegels in der betreffenden Weglängenvariationseinheit bei auftretender Interferenzerscheinung ermittelbar. Als Referenzwert wird eine vorgegebene Spiegelstellung verwendet. Wird eine Weglängenvariationseinheit mit einem rotierenden Würfel (beispielsweise wie in der WO 96/35100 beschrieben) verwendet, wird man bevorzugt dessen Nullgrad-Position als Referenz verwenden, bei der der einfallende Strahl senkrecht auf die erste Würfeloberfläche trifft. Anstelle vom minimal drei Messstrahlen zur Ermittlung der beiden zentralen Krümmungsradien können auch mehrere Messstrahlen verwendet werden, um eine exaktere Krümmungsradienmessung vorzunehmen. Auch kann gleichzeitig Dicken- und Radienmessung vorgenommen werden, wie unten ausgeführt wird.

Die in Figur 7 an Hand eines optischen Blockschaltbildes beschriebene Vorrichtung dient zur Ermittlung eines Oberflächenprofils sowie diverser Dicken bei einem transparenten bzw. diffusiven Gegenstand, hier einem menschlichen Auge 147. Der in Figur 7 schematisch dargestellte optische Aufbau ähnelt in weiten Teilen demjenigen

- 20 -

der Figur 1. Auch hier ist eine Strahlungsquelle 149 vorhanden, welche beispielsweise eine superlumineszente Diode sein kann. Die Strahlung der Strahlungsquelle 149 wird hier jedoch über einen Strahlungsleiter 150 geführt, der eine Ortsunabhängigkeit von Strahlungsquelle 149 und der Mess- und Auswerteeinheit ermöglicht. Die aus den

5 Strahlungsleiter 150 austretende Strahlung wird mit einer Linse 151 kollimiert und mit einer zweiten, nachfolgenden Linse 152 fokussiert. Zwischen dem Fokuspunkt 153 und der Linse 152 ist zur "Drehung" der Polariationsrichtung der Strahlung eine  $\lambda/2$ -Platte 154 angeordnet. Anschließend folgt ein Strahlteiler 155, mit dem die Strahlung in den Messarm 157a und den Referenzarm 157b aufgeteilt wird. Der Referenzarm 157a hat

10 auf den Strahlteiler 155 folgend eine  $\lambda/4$ -Platte 159, gefolgt von einer Linse 160, mit der die vom Strahlteiler 155 kommende Strahlung kollimiert wird. Als Weglängenvariations-einheit 161 ist schematisch lediglich ein linear verstellbarer Spiegel angedeutet; es können jedoch auch anders ausgebildete Einheiten, wie beispielsweise der rotierende Würfel verwendet werden.

15 Im Messarm 157b folgt auf den Strahlteiler 155 eine Kollimationslinse 162 und dann eine analog zur Umweeinheit 29 aufgebaute Umweeinheit 163, mit zwei polarisierenden bzw. wellenlängensensitiven Strahlteilern 164 und 165, zwei Umlenkspiegeln 166 und 167 und einer Fokussierlinse 169.

Die vom Auge rückreflektierte Strahlung wird mit der vom Referenzarm 157a kommenden Referenzstrahlung überlagert und im Detektorarm 157c über eine Linse 170 auf ein Detektionsarray 171 geführt, wobei der Einfachheit halber nur eine lineare und keine zwei dimensionale Darstellung von lediglich drei nebeneinander angeordneten Detektoren 172a, 172b und 173c vorgenommen worden ist. Jedem Detektor

20 172a, 172b und 173c ist eine elektronische Schaltung 173 beispielsweise mit einem Verstärker, Dopplerfrequenzfilter, Gleichrichter und Tiefpassfilter nachgeschaltet. Die detektierten Messsignale werden dann über einen Analog-Digital-Wandler 174 und einen Computer 175 mit der Speichereinheit 143 verarbeitet und auf einem Bildschirm 176 dargestellt.

Mit der in Figur 7 schematisch dargestellten Vorrichtung kann die Augenlänge, die Korneadicke, die Vorderkammertiefe, die Linsendicke, die Glaskörpertiefe und die Retinaschichtdicke gleichzeitig an verschiedenen Stellen gemessen werden. Da an verschiedenen Stellen gemessen werden kann, können auch Oberflächenprofile rechnerisch ermittelt werden. Um dies zu verdeutlichen sind drei seitlich versetzte Strahlen-

30

gänge ausgezogen, gestrichelt und punktiert dargestellt, welche auf die Detektoren 172a, 172b und 172c geführt werden. Der gestrichelte Strahl kommt, wie der besseren Übersichtlichkeit wegen vergrößert in **Figur 8** dargestellt, von den Orten 177a, 177b, 177c, 177d und der Retina 179. Je nach Stellung der Spiegel 166 und 167 bzw. des Spiegels in der Wegvariationseinheit wird dann vom Detektor 172a ein Interferenzsignal registriert. Für die Orte 180a bis 180d und 181a bis 181d gilt analoges. Mit Hilfe eines Detektorarrays bestehend aus  $m \times n$  Photodetektoren ist es möglich  $m \times n$  Orte auf oder im Auge 147 z. B. auf der Korneavorderfläche 182, der Korneahinterfläche 183, der Augenlinsenvorder bzw. -hinterfläche 184 und 185 gleichzeitig zu messen und auszuwerten. Nach einer gewissen Zeitdauer, welche abhängig ist von der Bewegungsgeschwindigkeit des Spiegels in der Wegvariationseinheit 161, werden dann die zu den mit "b", dann mit "c", mit "d" gekennzeichneten Orte detektiert und ausgewertet.

Die Linsen 160 und 162 können je nach Verwendung als ein- oder zweidimensionales Linsenarray ausgebildet sein.

Zum besseren Verständnis des Messvorganges sind in **Figur 9** zusätzlich die "Strahlenbegrenzungen" zum und vom Ort 177a ausgezogen sowie zum und vom Ort 181a punktiert im Referenz-, Mess- und Detektorarm 157a, 157b und 157c dargestellt. Die ausgezogenen bzw. punktierten Linien zeigen die zwei Randstrahlen im Referenz-, Mess- und Detektorarm 157a, 157b und 157c, welche die Messung der Raumkoordinate des Ortes 177a bzw. 181a ermöglichen, d. h. mit diesen Strahlen interferieren.

In **Figur 10** ist eine als faseroptisch paralleles kurzkohärentes Reflektormeter zu bezeichnende Vorrichtung skizziert. Diese Ausführungsvariante der Erfindung erlaubt beispielsweise die simultane Messung von vier zentralen Krümmungsradien der Hornhautvorderfläche in horizontaler (links und rechts) und vertikaler (oben und unten) Richtung. Zusätzlich ist auch die simultane Messung von vier zentralen Krümmungsradien der Hornhautrückseite möglich. Diese Vorrichtung hat fünf  $2 \times 2$  Singelmodefaserkoppler 190, fünf Strahlungsquellen 191a bis 191e, fünf Detektore 192a bis 192e mit zugehöriger Schaltung 193a bis 193e, Analog-Digital-Wandler 194, Computer 195 und Anzeige 196. Die restlichen Elemente und Einheiten (insbesondere 161 und 163), entsprechen denjenigen der **Figur 7**.

Die Eichung der oben beschriebenen Vorrichtungen kann dadurch erfolgen, dass in den Referenzarm (z.B. 1 oder 157a) die Strahlung einer hochkohärenten

Strahlungsquelle (z. B. ein distributed feedback Laser) mit einem (nicht dargestellten) Strahlteiler eingekoppelt wird. Die eingekoppelte Strahlung interferiert dann mit einem Strahlungsteil, der an einem beliebigen Ort zwischen diesem Strahlteiler und dem Weglängenvariator an einem feststehenden Reflektor reflektiert wird. Die Kohärenz der  
5 hochkohärenten Strahlungsquelle ist größer als die Wegvariationslänge des Variators. Über den Detektoren (oder auf einem separat hierfür eingerichteten Detektor) läuft dann ein Interferenzstreifenmuster. Der Abstand jeweils zweier Interferenzstreifen entspricht dann jeweils einer halben Wellenlänge. Durch ein (automatisches) Auszählen dieser Streifen ist eine Wegeichung des Weglängenvariators möglich. Da die hochko-  
10 härente Strahlung nicht auf das Auge des Patienten gelangen kann, kann deren Strahlungsleistung relativ hoch sein, so dass diese Detektion unkritisch ist. Die Wellenlänge der hochkohärenten Strahlung kann (muss es aber nicht) die gleiche Wellenlänge wie die für die Augenmessung verwendete kurzkohärente Strahlung haben.

Die mit den oben beschriebenen erfindungsgemäßen Vorrichtungen ermittelten  
15 Dicken der Hornhaut können vorzugsweise in eine Beratung von Patienten einfließen, bei denen eine refraktive Chirurgie mit LASIK (Laser-assisted in situ Keratomileusis) vorgenommen werden soll, in dem eine individuelle Berechnung eines Unterschieds zur kritischen Hornhautdicke mit Blick auf die aktuelle Hornhautdicke erfolgt. Hierzu wird man vorzugsweise die nachfolgenden neuen Schritte vornehmen:

- 20 1. Es wird eine präoperative zentrale Hornhautdicke  $d_z$  mit einer der Vorrichtungen, wie sie die Figuren 1 bis 5, 7 oder 10 zeigen, ermittelt.
2. Von der ermittelten Hornhautdicke  $d_z$  wird die bei LASIK übliche mittlere Flapdicke  $d_f$  von typischerweise 160  $\mu\text{m}$  (einstellbar) abgezogen.
3. Es wird ein (maximal möglicher) Pupillendurchmesser ermittelt, während dem das  
25 Auge typischen nächtlichen Lichtintensitätsbedingungen ausgesetzt ist. Der "nächtliche Pupillendurchmesser" kann durch Abdunkeln des Untersuchungsraums mit einer an die erfindungsgemäßen Vorrichtungen bzw. deren Ausführungsvarianten angeschlossenen TV-Kamera ausgemessen werden. Eine derartige Kamera kann z. B. im Detektorarm via Strahlteiler mit einem entsprechenden  
30 Linsensystem angedockt werden. Die Messung des Pupillendurchmessers ist optional. Für eine Beratung können auch Standardwerte verwendet werden.

4. Es wird nun ein optimaler Ablationsdurchmesser  $S$  auf der Hornhaut festgelegt, der größer sein muss als der nächtliche Pupillendurchmesser, um nach der Ablation Haloerscheinungen zu vermeiden.
5. Die mit LASIK zu erreichende Korrektur in Dioptrien ist aus vorgängigen Messungen (z. B. durch eine Kenntnis der Brechkraft einer bereits verwendeten Brille oder Kontaktlinse, welche der Patient bereits besitzt) bekannt.
6. Gemäß der Formel  $t_0 = -(S^2 D)/3$  wird die für die gewünschte Korrektur notwendige zentrale Abtragungstiefe  $t_0$  [in Mikrometer] für die gewünschte Korrektur berechnet, wobei  $S$  der optimale Ablationsdurchmesser in Millimeter und  $D$  die gewünschte Dioptrienänderung infolge der Ablation ist.
7. Es wird jetzt die zentrale stromale Restdicke  $d_s = d_z - d_t - t_0$  berechnet, welche nach der LASIK-Operation erhalten werden würde.
8. Es wird abgeklärt, ob die Restdicke  $d_s$  über einer kritischen zentralen stromalen Restdicke  $d_k$  liegt. Eine mögliche Definition für die kritische zentrale stromale Restdicke  $d_k$  ist beispielsweise  $d_k = a \cdot d_z - b$ , wobei  $a = 0,58$  und  $b = 30 \mu m$  als Standardwerte angenommen werden.
9. Ist nun  $d_s$  größer als  $d_k$  kann eine LASIK-Operation empfohlen werden.

Die oben angeführten Verarbeitungsschritten können selbstverständlich über einen Rechner automatisiert werden.

- 20 Das Vorgehen bei einer Hyperopiekorrektur erfolgt analog. Die Hornhautdicke muss dann jedoch peripher an der Stelle der maximalen Abtragung gemessen werden; die unter Punkt 6 angegebene Formel ist dann entsprechend zu ersetzen.

- 25 Den oben angeführten Dicken- und Profilmessungen am Auge kann eine Bestimmung dessen Brechkraftverteilung hinzugefügt werden. Um dies zu erreichen, wird die Linse 162 in Figur 7 durch ein (nicht dargestelltes) Linsenarray mit  $p \times q$  Linsen ersetzt. Hierdurch wird die von der Strahlungsquelle 149 kommende Strahlung in  $p \times q$  getrennte (nicht dargestellte) Teilstrahlen auf das Auge abgebildet. Das Linsenarray ist auf das Auge zu- bzw. von diesem wegbewegbar. Es wird nun in eine derartige Position gebracht, dass eine Fokussierung wenigstens teilweise auf der Retina erfolgt. An einem Ort zwischen der Augenoberfläche und der Linse 170 wird nun ein weiterer Strahlteiler eingesetzt und die Retina mit einer TV-Kamera betrachtet. Falls nun die
- 30

örtliche Verteilung der Lichtpunkte auf der Retina von der durch das Linsenarray erzeugten Punktverteilung abweicht, ist die Brechkraftverteilung oder die Abbildungseigenschaft des Auges nicht ideal, d.h. das Auge bildet eine auf die Kornea auftreffende ebene Wellenfront nicht optimal ab. Diese Abweichung (z. B. sphärische Aberration, Koma usw.) kann dann auf einem Monitor dargestellt werden.

Bekannte Tonometer (Augendruckmessgeräte) haben den Nachteil, dass sie den intraokularen Druck nur indirekt messen können. Die Messung erfolgt beispielsweise über eine Kraft, welche notwendig ist, um eine Hornhautoberfläche auf einer vorgegebenen Fläche abzuflachen (Applanationstonometer). Die "abflachende" Kraft ist aber abhängig von der Hornhautdicke und der Krümmung der Hornhaut. Die bekannten Tonometer gehen von einer standardisierten Hornhautnormaldicke und -normalkrümmung aus. Bei einer Abweichung der Hornhaut von den Standardwerten stimmt dann ein derart ermittelter Augeninnendruck nicht mit dem tatsächlichen überein. Je dicker oder je stärker gekrümmt die Hornhaut ist, desto stärker weicht der bekanntermaßen ermittelte Innendruck vom tatsächlichen nach oben ab. Das kann dazu führen, dass wegen vermeintlich zu hohem Augendruck Medikamente zur Augendrucksenkung verabreicht werden, welche nicht nötig bzw. sogar schädlich sind. Diese Fehlmessung bzw. Fehlinterpretation kann jedoch auch dazu führen, dass beispielsweise ein Glaukom erst verspätet diagnostiziert wird.

Er wird nun vorgeschlagen, die erfindungsgemäße Vorrichtung mit einem Tonometer zu kombinieren. Der mit einem bekannten Tonometer gemessene ("falsche") Augeninnendruck wird rechnerisch unter Verwendung der mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ermittelten Hornhautkrümmung und der Hornhautdicke korrigiert. Die Korrektur kann durch eine Eingabe der Werte in einen Rechner erfolgen oder automatisch durch eine elektronische Verknüpfung der beiden Geräte.

Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen, ihre Ausführungsvarianten sowie ihre Messgeräte können vernetzt werden, wodurch auch eine Aufbereitung und Abspeicherung von Daten auch an entfernten Orten vorgenommen und mit anderen Daten verglichen werden kann.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung dient wie bereits oben teilweise erwähnt zur ophthalmologischen Messung

- der Korneadicke, des Korneadickenprofils, des Korneavorder- sowie -rückseitenprofils;

- 25 -

- der Vorderkammertiefe, des Vorderkammertiefenprofils,
- der Linsendicke, des Linsendickenprofils, des Linsenvorder- sowie -rückseitenprofils,
- der Glaskörpertiefe, des Glaskörperprofils,
- 5    ➤ der Retinaschichtdicke, des Retinaoberflächenprofils,
- der Epitheliumdicke, des Epitheliumprofils, des Epitheliumvorder- und -rückflächenprofils,
- der kornealen Flapdicke, des Flapdickenprofils, des Flapvorder- und -rückseitenprofils, der Flapposition,
- 10   ➤ der kornealen Stromadicke, des Stromaprofils, des Stromavorder- und -rückflächenprofils.
- Weitere Messungen können bei postoperativen Nachuntersuchungen nach refraktiver Chirurgie vorgenommen werden.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Messung optischer Eigenschaften wenigstens zweier voneinander  
distanzierter Bereiche (37,39; 79,81; 135/140; 177a-d, 179; 180a-d, 179, 181a-d,  
5 179) bei einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand (5; 75; 109; 121) mit  
einer Messzeit im Subsekundenbereich, wobei der Gegenstand (5; 75; 109; 121;  
147) mit einer der Anzahl Bereiche entsprechenden Anzahl Messstrahlen (45, 46;  
96a, 96b; 71; 101) bestrahlt wird und jeweils zwei Messstrahlen bis auf eine Be-  
stimmungstoleranz zueinander eine optische Wegdifferenz haben, welche einem  
10 geometrischen Abstand jeweils zweier Bereiche (37, 39; 79, 81; 135, 140; 177a-d,  
179; 180a-d, 179, 181a-d, 179) entspricht und jeder von einem der Bereiche (37,  
39; 79, 81; 135, 140; 177a-d, 179; 180a-d, 179, 181a-d, 179) reflektierte Refle-  
xionsstrahl der Messstrahlen mit einem eine zeitliche, bevorzugt periodische,  
Weglängenvariation aufweisenden dritten Strahl (13; 60) interferierend überlagert  
15 und detektiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach Vornahme der  
Wegdifferenz bzw. -differenzen eine Vereinigung der Messstrahlen zu einer einzi-  
gen Strahlkonfiguration mit einer einzigen optischen Achse (40, 102) zur Dicken-  
20 messung erfolgt und vorzugsweise die Strahlkonfiguration (71) über den Gegen-  
stand (75; 121) bewegt, insbesondere periodisch über diesen bewegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeweils wenigstens  
zwei Messstrahlen in einem Abstand nebeneinander verlaufen, um ein Oberflä-  
25 chenprofil zu ermitteln.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass  
die Messstrahlen im Vergleich zu den Bereichsabständen, insbesondere zu den  
Bereichsabständen ausgehend von einem Referenzort (139) eine kurze Kohä-

renzlänge haben, vor allem die Messstrahlen (96a, 96b) jeweils sich voneinander unterscheidende Strahlungsfrequenzen haben, vorzugsweise die Messstrahlen (45, 46) jeweils sich voneinander unterscheidende Polarisationszustände haben, insbesondere jeweils ein Messstrahl (45, 46; 96a, 96b) auf einen der Bereiche (37, 39; 79, 81) fokussiert wird und wahlweise bei der zeitlichen Weglängenvariation des dritten Strahls ein einer vorgegebenen Weglänge entsprechender Referenzort definiert wird.

5. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einer "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung, in deren Messarm (3; 55; 157b) ein optisch transparenter und/oder diffusiver, bevorzugt reflektierender Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147) einbringbar ist und deren Referenzarm (1; 56, 90; 157a) eine Weglängenvariationseinheit (17; 65, 66; 161) aufweist, mit der bevorzugt eine periodische Weglängenänderung für die Strahlung im Referenzarm (1; 56, 90; 157a) erzeugbar ist, gekennzeichnet durch eine im Messarm (3; 55; 157b) vor dem Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147) angeordnete Umwegeinheit (29; 70, 95; 120; 163), mit der wenigstens ein erster Messstrahl mit einer gegenüber wenigstens einem zweiten Messstrahl größeren Umweg beaufschlagbar ist, wobei ein mit der Umwegeinheit (29; 70; 95; 120; 163) erzeugbarer Umweg bis auf eine Bestimmungstoleranz gleich einem Abstand von im Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147) auszumessenden Bereichen (37, 39; 79, 81; 177a-d-179; 180a-d-179, 181a-d-179), bevorzugt gleich einen Abstand seitlich benachbarter Bereiche von einem Referenzort (139) wählbar ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsquelle (7; 50; 149; 191a-e) der "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung derart ausgebildet ist, dass die Strahlung des von ihr ausgehenden Quellenstrahls (9; 51) eine im Vergleich zu den Bereichsabständen kurze Kohärenzlänge hat, die Strahlung wenigstens in zwei unterschiedliche Polarisationsrichtungen aufspaltbar ist und die Umwegeinheit (29; 70; 163) wenigstens zwei Strahlteiler (31, 32; 164, 165) hat, mit denen der zweite, gegenüber dem ersten

Messstrahl eine andere Polarisation aufweisende Messstrahl über den Umweg (43) führbar ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlungsquelle (83a, 83b) der "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung derart ausgebildet ist, dass die Strahlung wenigstens zwei unterschiedliche Strahlungszentrumswellenlängen hat und die Umwegeinheit wenigstens zwei wellenlängen-selektive Strahlteiler (93, 100) hat, mit denen der zweite, gegenüber dem ersten Messstrahl eine andere Strahlungsfrequenz aufweisende Messstrahl über den Umweg (93-94b-97b-99-101) führbar ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Umwegeinheit (29; 70; 95; 120) die geometrisch-optische Länge des Umwegs durch eine Abstandsverstellung eines Umlenkspiegels (36; 99) gegenüber einem der Strahlteiler (32; 100) veränderbar ist und insbesondere der Strahlteiler (32; 100) und jeder diesem zugeordnete Umlenkspiegel (36; 99) derart zueinander ausgerichtet sind, dass jeder umgelenkte Messstrahl mit dem nicht umgelenkten eine einzige optische Achse (40, 102) im Gegenstand (5; 75; 109; 121) hat sowie wahlweise je eine Fokussiereinheit (33, 34; 67, 72, 77, 78; 97a, 97b) für jeden Messstrahl, um diesen auf je einen Bereich (37, 39; 79, 81; 107, 108) fokussieren zu können.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **gekennzeichnet durch eine Speichereinheit (143)**, in der Weglängen der Weglängenvariationseinheit abspeicherbar sind, bei denen eine Interferenz der ersten und dritten sowie zweiten und dritten Messstrahlung abspeicherbar sind, um einen Dickenwert bei vorzugsweise annähernd auf einer Achse fokussierten ersten und zweiten Messstrahlen zu ermitteln bzw. wahlweise ein Oberflächenprofil bei seitlich benachbart liegenden ersten und zweiten Strahlen zu ermitteln.

10. Verwendung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einer Vorrichtung nach Anspruch 5 zur Dicken- und/oder Abstandsmessung von in einem transparenten und/oder diffusiven, bevorzugt örtlich schwer fixierbaren Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147) vorhandenen optischen Bereichen (37, 39; 79, 81; 115) unterschiedlicher optischer Eigenschaften, wie beispielsweise Brechungsindexübergängen, wobei der Umweg in der Umwegeinheit (29; 70; 95; 118; 120; 163) bis auf eine Bestimmungstoleranz auf die zu erwartende, zu messende Abmessung eingestellt wird und die mit der Weglängenvariationseinheit (17; 65, 66; 161) variiere Weglänge mindestens der Toleranz entspricht.
11. Verwendung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einer Vorrichtung nach Anspruch 5 zur Profilbestimmung von einem Strahlung reflektierenden, bevorzugt örtlich schwer fixierbaren Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147), wobei der Umweg in der Umwegeinheit (29; 70; 95; 118; 120; 163) bis auf eine Bestimmungstoleranz auf den zu erwartenden und zu messenden Abstand vorzugsweise von einem Referenzort eingestellt und abgespeichert wird und mit einem vorgängig ermittelten, einen seitlichen Distanzwert aufweisenden Abstandswert zur Profilermittlung verknüpft wird.
12. Verwendung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Gegenstand das menschliche Auge (75; 121; 147) ist.

1/7

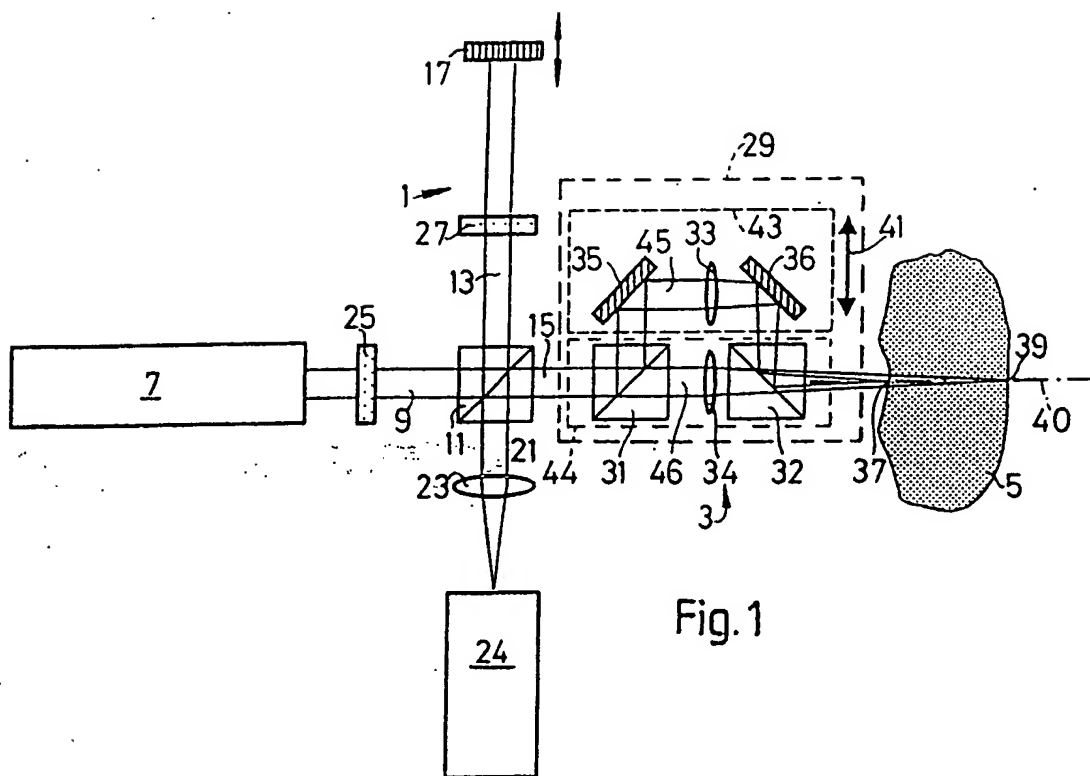
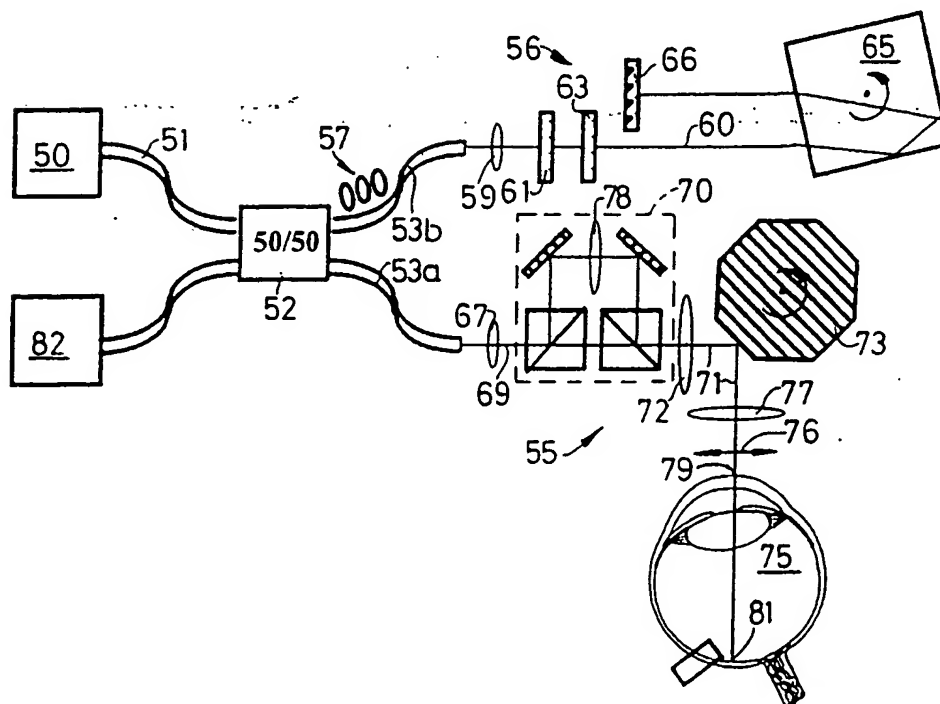


Fig. 2



2/7

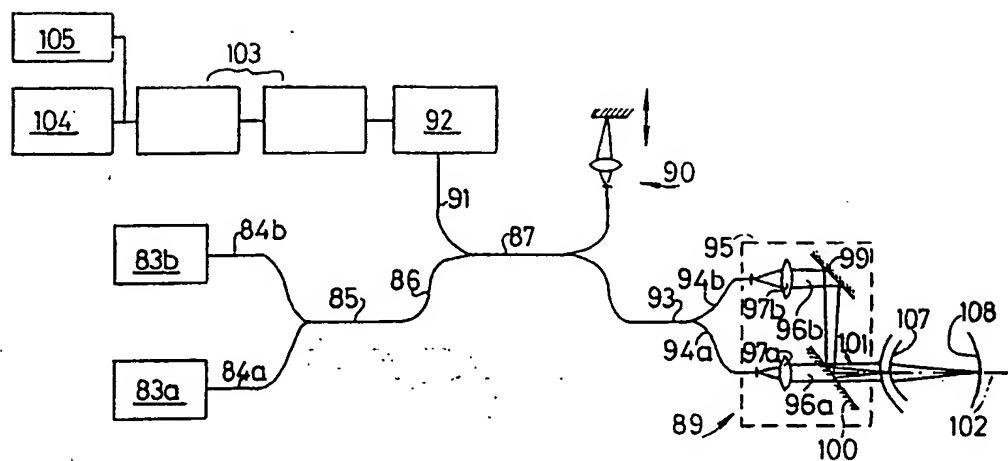


Fig. 3

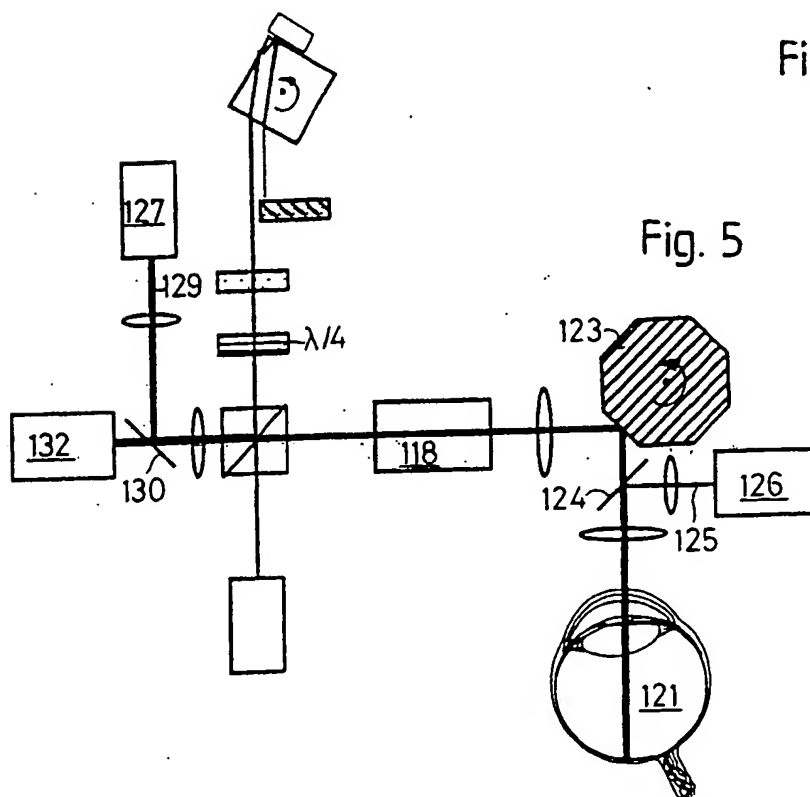


Fig. 5

3/7

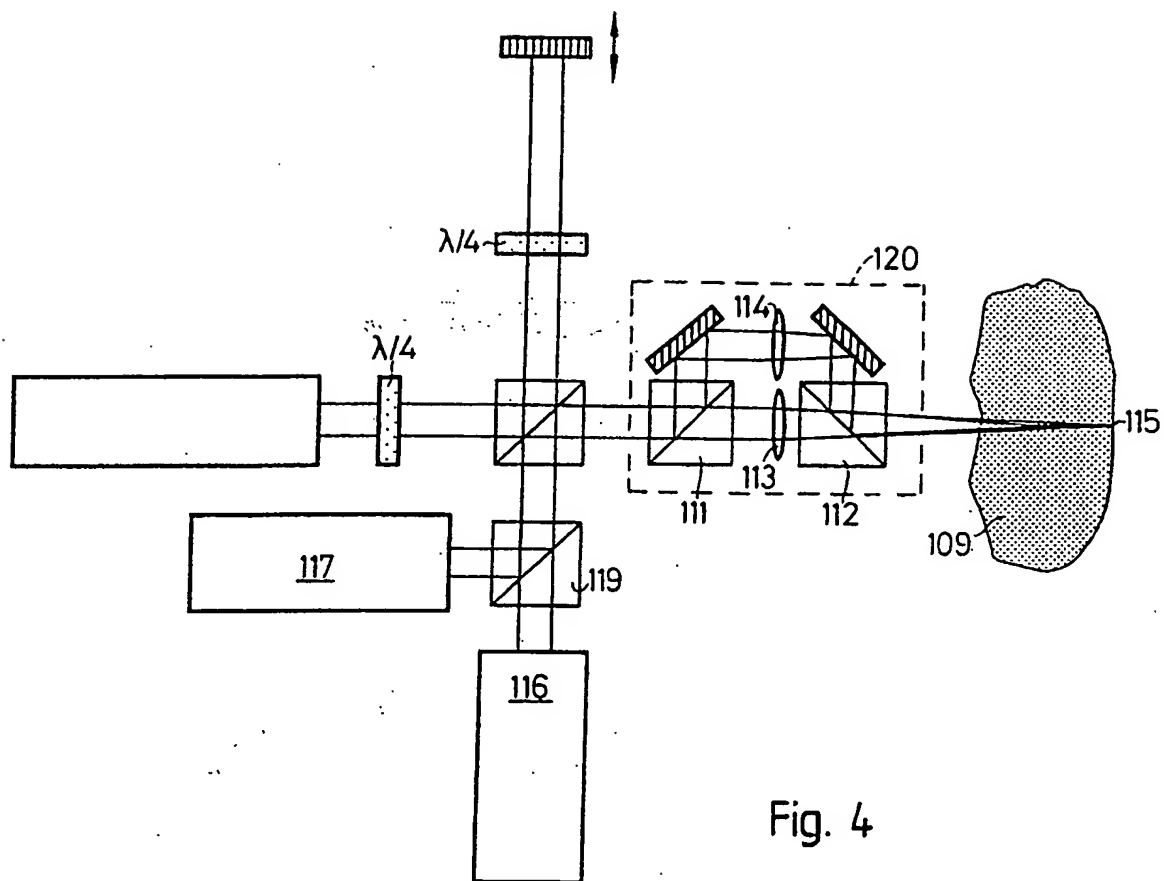


Fig. 4

4/7

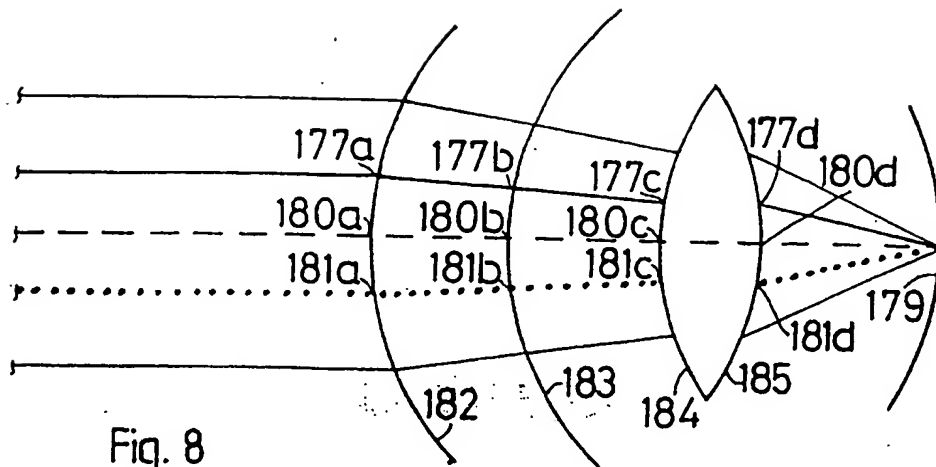


Fig. 8

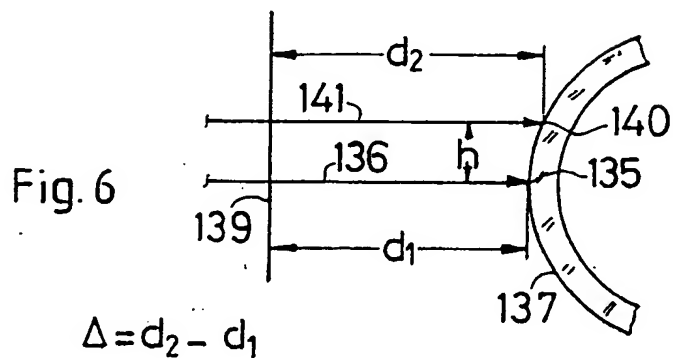


Fig. 6

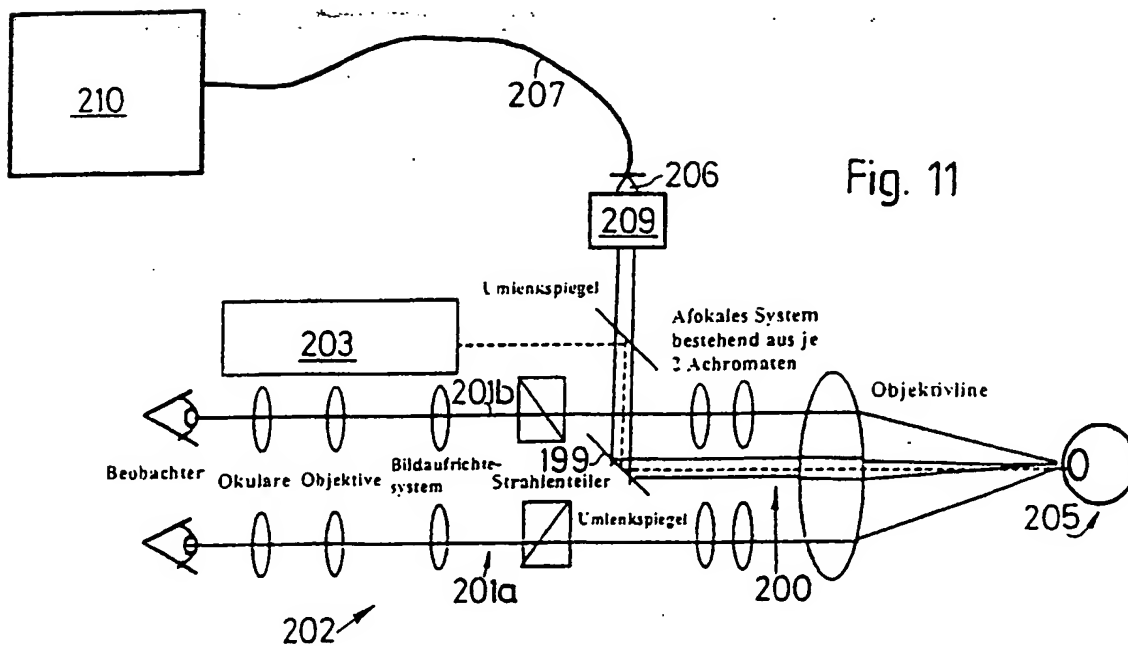
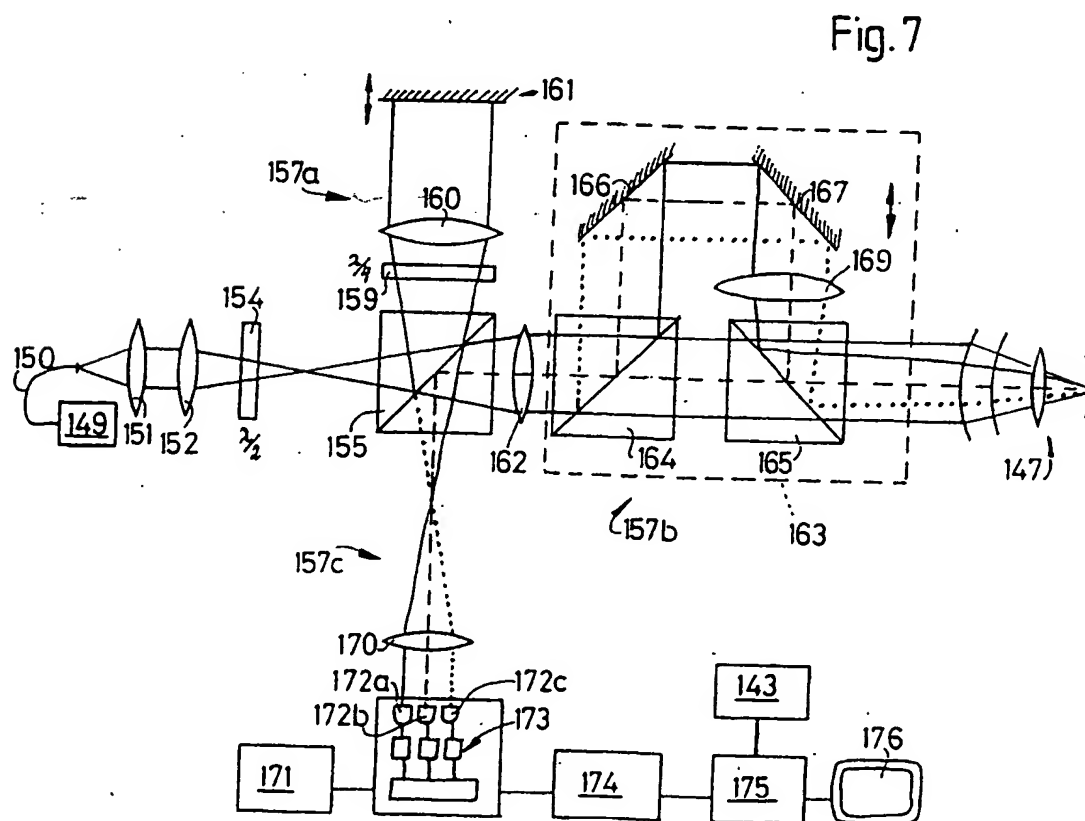
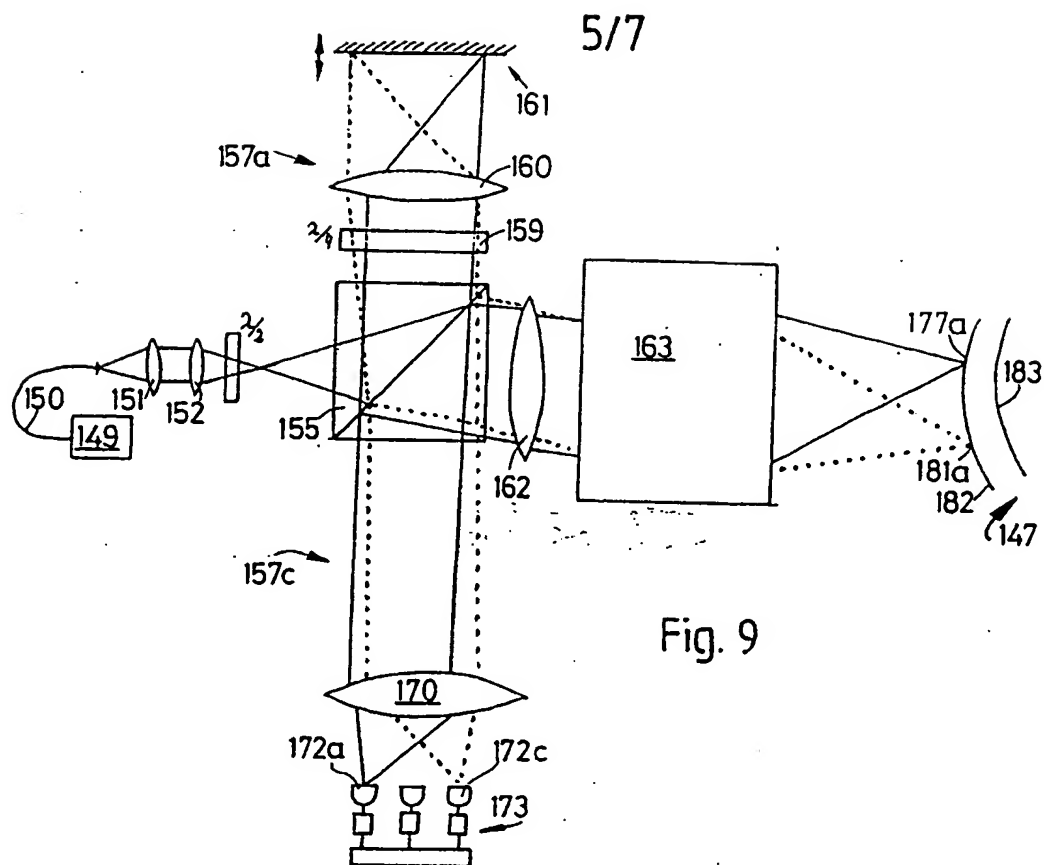


Fig. 11



6/7

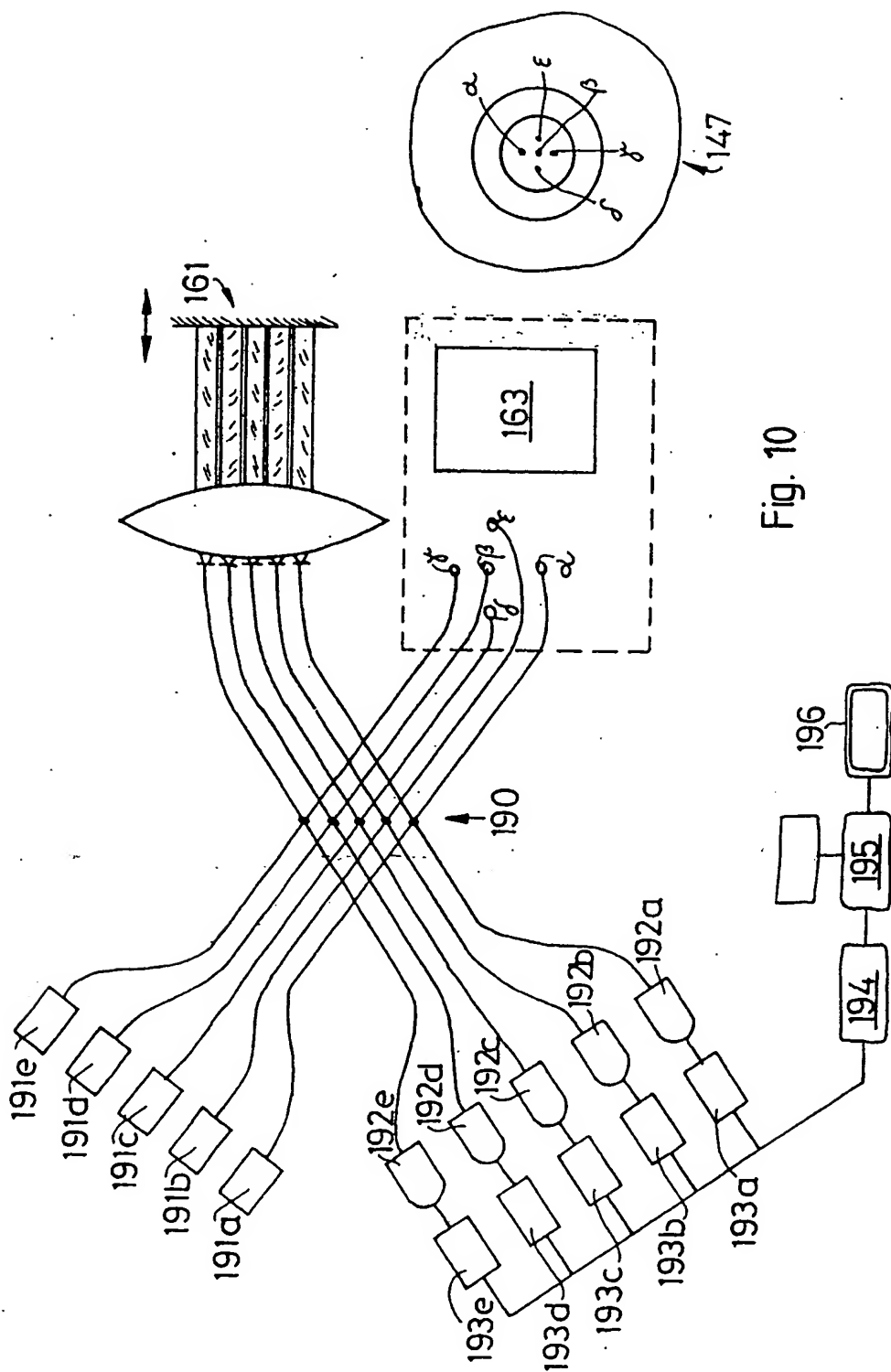
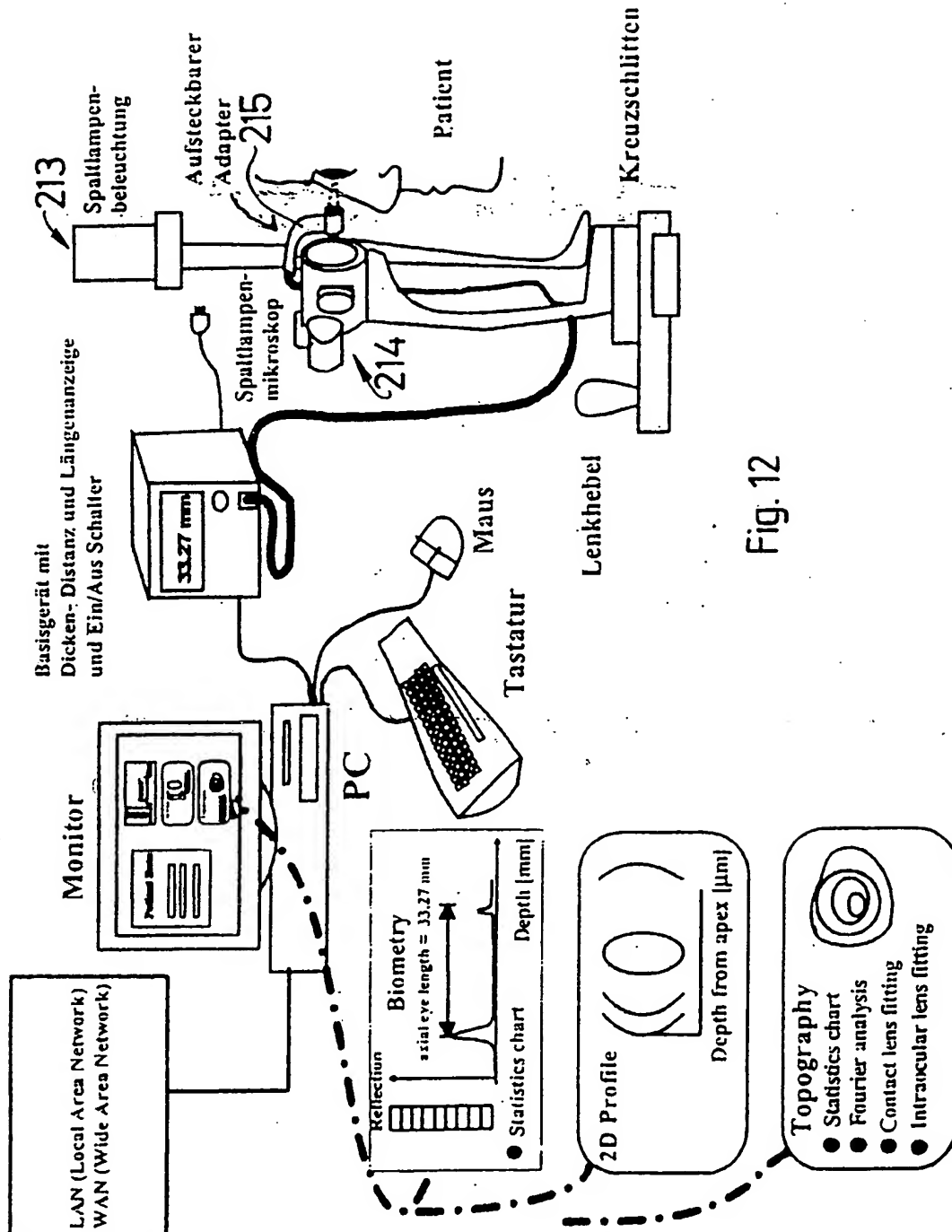


Fig. 10



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/CH 00/00634

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 60189/02 601B11/06 601N21/45

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 601B 601N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 96 35100 A (MERIDIAN AG ;CHAVANNE PHILIPPE (CH); SALATHE RENE PAUL (CH)) 7 November 1996 (1996-11-07) cited in the application abstract; figure 1	1,5,10
A	EP 0 932 021 A (UNIV HONG KONG SCIENCE & TECHN) 28 July 1999 (1999-07-28) abstract; figure 2	1,5,10
A	EP 0 671 601 A (MINNESOTA MINING & MFG) 13 September 1995 (1995-09-13) abstract; figure 1	1,5,10

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the International filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

\*A\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

9 February 2001

Date of mailing of the International search report

26/02/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3018

Authorized officer

Vorropoulos, G

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH 00/00634

**A. KLASSTIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 IPK 7 G01B9/02 G01B11/06 G01N21/45

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 7 G01B G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
A	WO 96 35100 A (MERIDIAN AG ; CHAVANNE PHILIPPE (CH); SALATHE RENE PAUL (CH)) 7. November 1996 (1996-11-07) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung 1	1,5,10
A	EP 0 932 021 A (UNIV HONG KONG SCIENCE & TECHN) 28. Juli 1999 (1999-07-28) Zusammenfassung; Abbildung 2	1,5,10
A	EP 0 671 601 A (MINNESOTA MINING & MFG) 13. September 1995 (1995-09-13) Zusammenfassung; Abbildung 1	1,5,10

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. Februar 2001

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

26/02/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Vorropoulos, G

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/CH 00/00634

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9635100 A	07-11-1996	EP 0877913 A US 6144456 A	18-11-1998 07-11-2000
EP 0932021 A	28-07-1999	NONE	
EP 0671601 A	13-09-1995	US 5523839 A JP 7280539 A	04-06-1996 27-10-1995

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH 00/00634

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 9635100	A	07-11-1996	EP	0877913 A	18-11-1998
			US	6144456 A	07-11-2000
EP 0932021	A	28-07-1999	KEINE		
EP 0671601	A	13-09-1995	US	5523839 A	04-06-1996
			JP	7280539 A	27-10-1995